

Міністерство освіти і науки України
Прикарпатський національний університет
імені Василя Стефаника
Фізико-технічний факультет
Кафедра комп'ютерної інженерії та електроніки

В.І. Мандзюк, С.П. Новосядлий, М.Ф. Павлюк

КОМП'ЮТЕРНА ЕЛЕКТРОНІКА:
ЛАБОРАТОРНИЙ ПРАКТИКУМ

м. Івано-Франківськ

– 2021 –

УДК 621.382:004(076.5)

М-23

Мандзюк В.І., Новосядлий С.П., Павлюк М.Ф. Комп'ютерна електроніка: лабораторний практикум. – Івано-Франківськ, Прикарпатський національний університет ім. Василя Стефаника, 2021. – 139 с.

Лабораторний практикум містить опис 18 лабораторних робіт, які охоплюють питання, що стосуються побудови і моделювання електричних схем на основі пристроїв напівпровідникової електроніки та теоретичного розрахунку їх основних параметрів.

Навчально-методичний посібник може бути корисним для інженерно-технічних працівників, які займаються проектуванням напівпровідникових пристроїв, студентів спеціальності 123 “Комп'ютерна інженерія” і 171 “Електроніка” та аспірантів технічних спеціальностей.

Рецензенти:

Рачій І.Б. – доктор фізико-математичних наук, професор кафедри матеріалознавства і новітніх технологій Прикарпатського національного університету імені Василя Стефаника

Никируй Л.І. – кандидат фізико-математичних наук, професор кафедри фізики і хімії твердого тіла Прикарпатського національного університету імені Василя Стефаника

Затверджено на засіданні кафедри комп'ютерної інженерії та електроніки (протокол №3 від “12” жовтня 2021 р.)

Рекомендовано до друку Вченою радою фізико-технічного факультету Прикарпатського національного університету імені Василя Стефаника (протокол № 4 від 23 грудня 2021 р.)

© Мандзюк В.І., Новосядлий С.П., Павлюк М.Ф.

© Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника, м. Івано-Франківськ, вул. Шевченка, 57

Зміст

Передмова	4
Вступне заняття. Інтерфейс та основні операції програми Electronic Workbench.	5
Лабораторна робота №1. Вивчення роботи напівпровідникового діода.	15
Лабораторна робота №2. Дослідження параметрів і характеристик стабілітрона.	21
Лабораторна робота №3. Однонапівперіодні та двохнапівперіодні випрямлячі.	25
Лабораторна робота №4. Мостовий випрямляч.	31
Лабораторна робота №5. Ємнісний фільтр на виході випрямляча.	35
Лабораторна робота №6. Діодні обмежувачі.	42
Лабораторна робота №7. Діодні формувачі.	50
Лабораторна робота №8. Дослідження біполярного транзистора.	55
Лабораторна робота №9. Задання робочої точки в транзисторному каскаді.	63
Лабораторна робота №10. Робота транзисторного каскаду в режимі малого сигналу.	79
Лабораторна робота №11. Дослідження польового транзистора з керованим $p-n$ -переходом.	89
Лабораторна робота №12. Дослідження польового транзистора з ізольованим затвором.	95
Лабораторна робота №13. Характеристики операційного підсилювача.	99
Лабораторна робота №14. Дослідження роботи неінвертуючого підсилювача.	105
Лабораторна робота №15. Дослідження роботи інвертуючого підсилювача.	108
Лабораторна робота №16. Компаратори.	111
Лабораторна робота №17. Додавання напруг у схемах на операційному підсилювачі.	124
Лабораторна робота №18. Схеми диференціювання та інтегрування на основі операційного підсилювача.	129
Література	138

ПЕРЕДМОВА

Електронна елементна база на теперішній час через низку суттєвих переваг є найбільш перспективною для побудови сучасних засобів автоматики та систем керування. Широке застосування електроніки та схемотехніки обумовлено новим етапом розвитку засобів автоматизації виробництва – впровадження гнучких автоматизованих виробництв, робототехніки, широке застосування комп'ютерної та мікропроцесорної техніки для реалізації систем керування. Електроніка і мікросхемотехніка забезпечує автоматизоване керування технологічними процесами, науковими і експериментальними дослідженнями окремих об'єктів.

Таким чином, курс “Комп'ютерна електроніка” являється однією з фундаментальних загальнотехнічних дисциплін при підготовці бакалаврів технічних спеціальностей, які задіяні у виконанні виробничих та дослідницьких робіт в області створення засобів автоматики, комп'ютерних систем, автоматизованого виробництва, гнучких виробничих систем в різних галузях народного господарства України.

Вступна лабораторна робота

Інтерфейс та основні операції програми Electronic Workbench

Мета роботи: вивчити призначення вікон, меню і основних операцій середовища проектування Electronic Workbench, оволодіти навиками створення електричних схем, вивчити склад бібліотек компонент програми.

1.1. Структура вікна і система меню.

Програма запускається з допомогою піктограми  або файлу Wewb32.exe. На екрані з'явиться основне вікно (рис. 1).

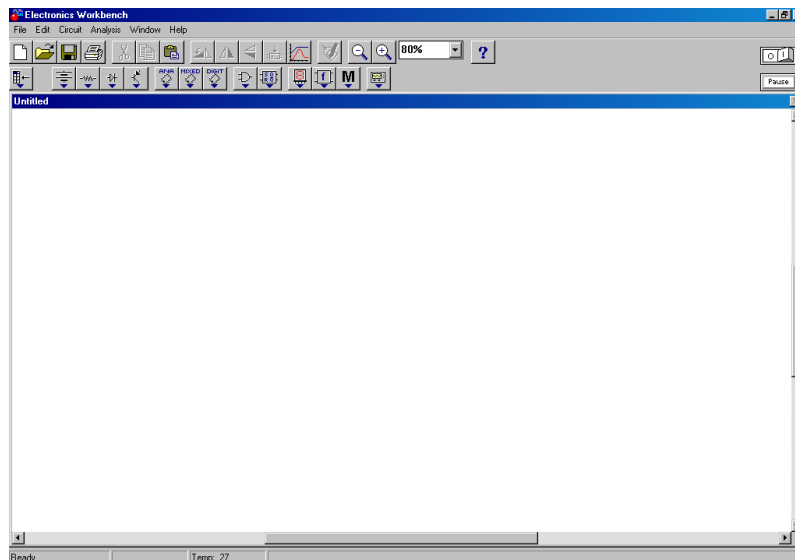


Рис. 1. Основне вікно програми


Вікно програми містить поле меню, лінійку інструментів і компактне представлення компонент в розгорнутому вигляді. Лінійка контрольно – вимірювальних пристроїв розміщена в одному полі з бібліотеками компонентів. Лінії прокрутки використовуються тільки для переміщення схеми. Призначення кнопок також висвічується, якщо до них підвести курсор.


Меню *File* призначено для завантаження і запису файлів, отримання твердої копії для друку складових частин схеми, а також для імпорту / експорту файлів у форматах інших систем моделювання і програми розробки друкованих плат.

Меню *Edit* дозволяє виконувати редагування схем і копіювання екрану.

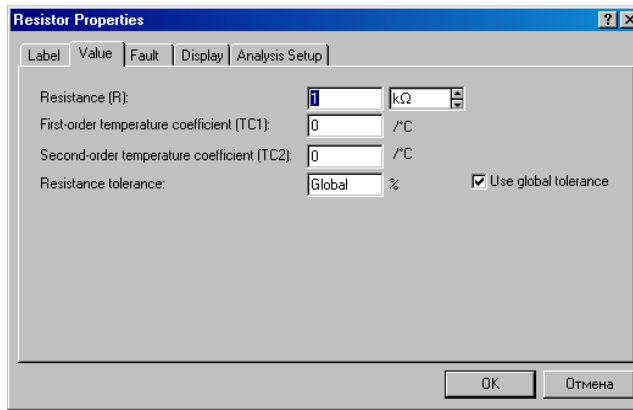
Меню *Circuit* містить команди управління розміщенням графічного зображення компонентів: *Rotate* – поворот компонента на 90°, *Flip Horizontal* – дзеркальне відображення компонента по горизонталі, *Flip Vertical* - дзеркальне відображення компонента по вертикалі. Ці команди можуть бути також виконані натисканням кнопок



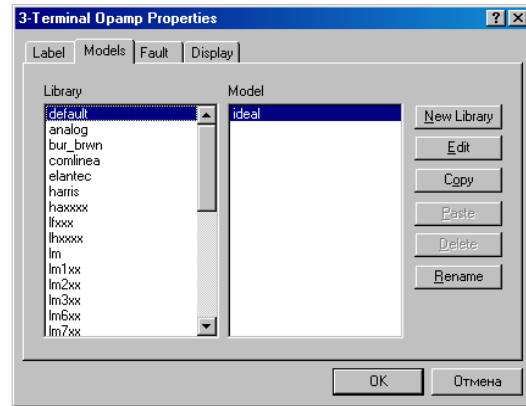
. Команда *Component Properties* задає властивості компонента. Вона також виконується після подвійного натискання по компоненту чи натискання кнопки . При виконанні команди відкривається діалогове вікно, показане на рис. 2, а. Для активних компонентів меню команди *Component Properties* містить підменю *Models* (рис. 2, б), з допомогою якого вибирається тип бібліотечного компонента, редагуються його параметри, створюється нова бібліотека.

Меню *Analysis* містить наступні команди: *Activate* – запуск моделювання, *Stop* – зупинка моделювання (ці дві команди можуть бути виконані також натисканням кнопки ) , *Pause* – переривання моделювання.

Команда *Analysis Options...* являє собою набір команд набір команд для установки параметрів моделювання (рис. 3).



a)



б)

Рис. 2. Діалогове вікно команди Component Properties для пасивних (а) і активних (б) компонент

Зокрема, закладка *Global* використовується для налаштування загального характеру, *DC* – налаштування для режиму розрахунку за постійним струмом (статичний режим), *Transient* – налаштування параметрів режиму аналізу перехідних процесів, *Device* – вибір параметрів МОН - транзисторів, *Instruments* – налаштування параметрів контрольно – вимірювальних приладів.

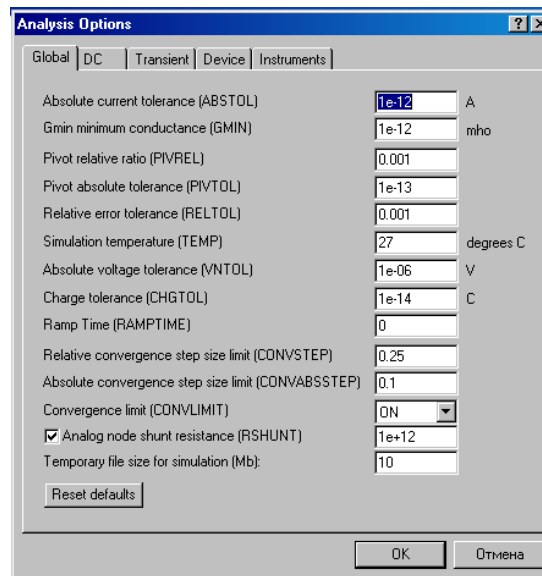


Рис. 3. Діалогове вікно налаштування параметрів моделювання

Меню *Window* містить наступні команди: *Arrange* – впорядкування інформації в робочому вікні програми шляхом перезапису екрану (при цьому виправляються спотворення зображень компонентів і з'єднувальних провідників), *Circuit* – вивід схеми на передній план, *Description* – вивід на передній план опису схеми, якщо воно є, або вікно-ярлик для його підготовки (тільки на англійській мові).

Меню *Help* побудовано стандартним для Windows способом. Воно містить короткі відомості по всім командам, бібліотечним компонентам та вимірювальним пристроям, а також відомості про саму програму. Відмітимо, що для отримання довідки по бібліотечному компоненту його необхідно відмітити на схемі клацанням миші (він висвітлиться червоним кольором) і потім натиснути клавішу F1.

1.2. Створення схем.

В загальному випадку процес створення схеми розпочинається із розміщення на робочому полі компонентів із бібліотек програми. Для відкриття каталогу потрібної бібліотеки необхідно підвести курсор миші до відповідної іконки і натиснути один раз її ліву кнопку. Необхідний для створення схеми значок (символ) компонента переноситься із каталогу на робоче поле програми рухом миші при нажатій лівій кнопці, після чого кнопка відпускається (для фіксування символу) і здійснюється подвійне клацання лівою кнопкою миші по значку компонента. У відкритому діалоговому вікні встановлюються необхідні параметри і вибір підтверджується натисненням кнопки *Ok* чи клавіші *Enter*.

Якщо в схемі використовуються компоненти однакового номіналу, то номінал такого компоненту рекомендується задавати безпосередньо в каталозі бібліотеки (для цього потрібно на компоненті натиснути правою кнопкою миші і вибрати команду *Component Properties*) і потім переносити компоненти в необхідній кількості на робоче поле. Для зміни номіналу компоненту необхідно два рази клацнути лівою кнопкою миші по символу його графічного зображення і у відкритому вікні ввести необхідні зміни.

Після розміщення компонентів здійснюється з'єднання їх виводів провідниками. При цьому необхідно враховувати, що до виводу компоненту можна підключити тільки один провідник. Для виконання підключення курсор миші підводиться до виводу компонента і після появи чорної точки натискається ліва кнопка миші. При її русі з'являється провідник, який підтягується до виводу другого компонента до появи такої ж точки, після чого кнопка миші відпускається, і з'єднання готове. Для отримання прямих провідників такі операції необхідно проводити із натиснутою клавішею *Shift*. При необхідності підключення до цих виводів інших провідників в бібліотеці *Basic* вибирається точка (символ з'єднання) і переноситься на раніше встановлений провідник. Щоб точка почорніла (спочатку вона має червоний колір), необхідно клацнути мишею по вільному місці робочого поля. Якщо ця точка дійсно має електричне з'єднання з провідником, то вона повністю замальовується чорним кольором. Якщо на ній видно слід від провідника, то електричного з'єднання немає і точку необхідно встановити знову. Після вдалої установки до точки з'єднання можна під'єднати ще два провідники. Якщо з'єднання необхідно розірвати, курсор підводиться до одного із виводів компонентів чи точки з'єднання і при появі чорної точки натискається ліва кнопка миші, провідник відводиться на вільне місце робочого поля, після чого кнопка відпускається. Якщо необхідно під'єднати вивід до провідника на схемі, то провідник від виводу компонента підводиться до вказаного провідника і після появи точки з'єднання кнопка миші відпускається.

Точка з'єднання може бути використана не тільки для підключення провідників, але й для введення записів. Для цього необхідно двічі клацнути по точці і у відкритому вікні ввести необхідний запис (не більше 14 символів), причому запис можна зміщувати вправо шляхом введення зліва потрібної кількості пробілів. Ця властивість може бути використана в тому випадку, коли позиційне позначення компоненту (наприклад, C1, R2) накладається на провідник, який проходить поруч, та інші елементи схеми.

Якщо необхідно перемістити окремих сегмент провідника, до нього підводиться курсор, натискається ліва кнопка і після появи у вертикальній чи горизонтальній площині подвійного курсору здійснюються необхідні переміщення.

Підключення до схеми контрольно – вимірювальних пристроїв здійснюється аналогічно. Причому для таких пристроїв як осцилограф чи логічний аналізатор з'єднання доцільно проводити кольоровими провідниками, оскільки їх колір визначає колір відповідної осцилограми. Кольорові провідники доцільні не тільки для позначення провідників одного функціонального призначення, але й для провідників, які знаходяться в різних частинах схеми (наприклад, провідники шини даних до і після буферного елемента).

При імпортуванні в створену схему іншої схеми чи її фрагментів доцільно діяти в такій послідовності:

- командою *File \ Save As* записати у файл створювану схему, вказавши її ім'я в діалоговому вікні (розширення імені файлу вказувати не обов'язково, програма це зробить автоматично);
 - командою *File \ Open* завантажити на робоче поле імпортовану схему;
 - командою *Edit \ Select All* виділити схему, якщо імпортується вся схема, чи виділити її необхідну частину;
 - командою *Edit \ Copy* скопіювати виділену схему в буфер обміну;
 - командою *File \ Open* завантажити створювану схему;
 - командою *Edit \ Paste* вставити дані з буферу обміну на робоче поле; після вставки імпортована схема буде виділена (і відмічена червоним кольором) і може виявитися накладеною на створювану схему;
 - клавішами управління курсором чи мишою відбуксирувати імпортовану частину в необхідне місце, після чого можна відмінити виділення;
 - після підключення імпортованої схеми необхідно клацанням миші пройти по всім компонентам схеми, щоб виключити їх зміщення, які виникають при буксируванні і приводять до ступінчастого викривлення провідників.
- Переміщення окремих фрагментів схеми при її компоновці виконуються вищеописаним способом після виділення фрагмента.
- Після підготовки схеми рекомендується скласти її опис (у вікні *Description*), в якому вказується її призначення, а після моделювання його результати.

1.3. Бібліотека елементів.








Перейдемо до опису бібліотек компонентів програми. При описі бібліотек після назви компоненту в дужках вказуються назначувані користувачем параметри.














1. *Favorites* – в цьому розділі розміщуються підсхеми, якщо вони є даній схемі (у вихідному стані даний розділ пустий). Заповнення розділами моделями компонентів чи підсхем здійснюється програмою автоматично одночасно із завантаженням схемного файлу і очищається після закінчення роботи із ним.

2. *Sources* – джерела сигналів (рис. 4). Відмітимо, що під джерелами сигналів розуміються не тільки джерела живлення, але й керовані джерела. Меню розділу *Sources* містить наступні компоненти:



Рис. 4. Меню розділу Sources

-  заземлення (мітка);
-  батарея (напруга);
-  джерело постійного струму (струм);
-  джерело змінної синусоїдальної напруги (ефективне значення напруги, частота, фаза);
-  джерело змінного синусоїдального струму (ефективне значення струму, частота, фаза);
-  джерело напруги, кероване струмом чи напругою (коефіцієнт передачі);
-  джерело струму, кероване струмом чи напругою (коефіцієнт передачі);













	джерела постійно – прикладеної напруги (напруга);
	генератор однополярних прямокутних імпульсів (амплітуда, частота, коефіцієнт заповнення);
	генератор амплітудно – модульованих коливань (напруга і частота несучої, коефіцієнт і частота модуляції);
	генератор фазово – модульованих коливань (напруга і частота несучої, індекс і частота модуляції);
	осцилятор синусоїдальних хвиль, керований напругою;
	осцилятор трикутних хвиль, керований напругою;
	осцилятор прямокутних хвиль, керований напругою;
	чекаючий мультивібратор;
	джерело з кусково-лінійною характеристикою;
	джерело з кусково-лінійною характеристикою, кероване напругою;
	джерело в режимі частотної маніпуляції;
	поліноміальне джерело живлення (коефіцієнти полінома);
	джерело з нелінійною залежністю.







3. *Basic* – розділ, в якому зібрані всі пасивні компоненти, а також комутаційні пристрої (рис. 5).



Рис. 5. Меню розділу Basic

До складу меню *Basic* входять такі компоненти:

	з'єднувач;
	резистор (опір);
	конденсатор (ємність);
	катушка (індуктивність);
	трансформатор;
	реле з перекидним контактом (струм спрацювання і відпускання, індуктивність обмотки);
	перемикач, керований натисканням заданої клавіші клавіатури (по замовчуванню – клавіша пробілу);
	перемикач, який автоматично спрацьовує через заданий час на вмикання і вимикання (час вмикання і вимикання);
	перемикач, керований напругою;
	перемикач, керований струмом;
	навантажувальний резистор;
	потенціометр (опір);
	упаковка резисторів (опір);
	аналоговий перемикач, керований напругою (напруга, опір);









-  поляризований конденсатор (ємність);
-  конденсатор змінної ємності (ємність);
-  котушка змінної індуктивності (індуктивність);
-  котушка індуктивності без сердечника (число витків);
-  магнітний сердечник;
-  нелінійний трансформатор.

4. *Diodes* – діоди (рис. 6).



Рис. 6. Меню розділу Diodes

Компонентами даного розділу є:

-  напівпровідниковий діод (тип);
-  стабілітрон (тип);
-  світлодіод (тип);
-  випрямний міст (тип);
-  діод Шоклі (тип);
-  тиристор чи діністор (тип);
-  симетричний діністор чи діак (тип);
-  симетричний триністор чи тріак (тип).

5. *Transistors* – транзистори (рис. 7).

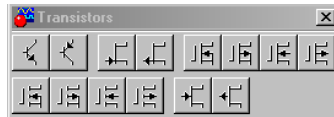









Рис. 7. Меню розділу Transistors

До складу даного розділу входять:


-  $n-p-n$ – біполярний транзистор (тип);
-  $p-n-p$ – біполярний транзистор (тип);
-  n -каналний польовий транзистор (тип);
-  p -каналний польовий транзистор (тип);
-  польові МОН-транзистори з ізольованим затвором n -каналні із збагаченою підкладкою і p -каналні із збідненою підкладкою, із окремими чи з'єднаними виводами підкладки та витокком (тип);
-  польові МОН-транзистори з ізольованим затвором n -каналні із збагаченим затвором і p -каналні із збідненим затвором, із окремими чи з'єднаними виводами підкладки та витокком (тип);
-  арсенід-галієві польові транзистори p - і n - типу (тип).

6. *Analog ICs* – аналогові мікросхеми (рис. 8).



Рис. 8. Меню розділу Analog ICs

До сімейства аналогових мікросхем входять:

-  операційний підсилювач з 3-а, 5-а, 7-а і 9-а виводами відповідно (тип);



компаратор напруги (тип);
 мікросхема для систем фазового автоматичного підстроювання частоти.

7. *Mixed ICs* – мікросхеми змішаного типу (рис. 9).

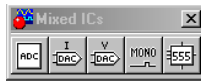


Рис. 9. Меню розділу Mixed ICs

Даний розділ містить:



аналогово – цифровий перетворювач (тип);



8-розрядний ЦАП із зовнішніми опорними джерелами струму і пара фазним виходом (тип);



8-розрядний ЦАП із зовнішніми опорними джерелами напруги (тип);



моностабільний мультівібратор (тип);



мікросхема багатофункціонального таймера 555, вітчизняний аналог – КР1006ВИ1.

8. *Digital ICs* – цифрові мікросхеми (рис. 10),



Рис. 10. Меню розділу Digital ICs

до складу якого входять моделі цифрових ІМС серій SN74 і CD4000 (вітчизняні ІМС серій 155 і 176 відповідно). Для конкретних ІМС замість символів “хх” ставляться відповідні номери.

9. *Logic Gates* – логічні цифрові мікросхеми (рис. 11).

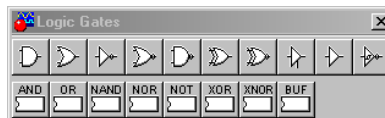


Рис. 11. Меню розділу Logic Gates

Група *Logic Gates* складається із базових логічних елементів і моделей цифрових ІМС ТТЛ- і КМОН-серій:



вентиль І (кількість входів);



вентиль АБО (кількість входів);



вентиль НЕ (тип);



вентиль АБО-НЕ (кількість входів);



вентиль І-НЕ (кількість входів);



логічний елемент ВИКЛЮЧАЮЧЕ АБО (кількість входів);



логічний елемент ВИКЛЮЧАЮЧЕ НЕ-АБО (кількість входів);



тристабільний буфер – елемент з трьома станами (тип);



буфер (тип);



тригер Шмідта (тип);



Цифрові ІМС ТТЛ- і КМОН-серій (тип).

10. *Digital* – цифрові мікросхеми (рис. 12).

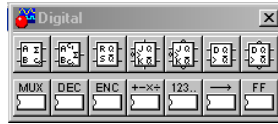














Рис. 12. Меню розділу Digital

До складу меню входять наступні компоненти:










-  напівсуматор (тип);
-  суматор (тип);
-  RS-тригер (тип);
-  JK-тригери з прямим чи інверсним тактовим входом і входами передустановки (тип);
-  D-тригери без перед установки і з входами передустановки (тип);
-  серійні мікросхеми мультиплексорів (тип);
-  серійні мікросхеми демультимплексорів (тип);
-  серійні мікросхеми кодерів (тип);
-  серійні мікросхеми арифметико-логічних пристроїв (тип);
-  серійні мікросхеми лічильників (тип);
-  серійні мікросхеми регістрів (тип);
-  серійні мікросхеми тригерів (тип).

11. *Indicators* – індикаторні пристрої (рис. 13),



Рис. 13. Меню розділу Indicators

до яких відносяться:




-  вольтметр (внутрішній опір, режим вимірювання постійного чи змінного струму);
-  амперметр (внутрішній опір, режим вимірювання постійного чи змінного струму);
-  лампа розжарювання (напруга, потужність);
-  світлоіндикатор (колір свічення);
-  семисегментний індикатор (тип);
-  семисегментний індикатор з дешифратором (тип);
-  звуковий індикатор (частота звукового сигналу, напруга і струм спрацювання);
-  лінійка з десяти незалежних світлодіодів (напруга, номінальний і мінімальний струм);
-  лінійка з десяти світлодіодів із вбудованим ЦАП (мінімальна і максимальна напруга).










12. *Controls* – аналогові обчислювальні пристрої (рис. 14).



Рис. 14. Меню розділу Controls

До меню вказаного виду входять:

-  диференціатор;
-  інтегратор;
-  масштабуюча ланка;








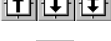


-  формувач передавальних функцій;
-  аналоговий помножувач;
-  аналоговий пристрій ділення;
-  трьохвхідний суматор;
-  некерований обмежувач напруги;
-  керований обмежувач напруги;
-  обмежувач струму;
-  блок із гістерезисною характеристикою;
-  селектор сигналів.

13. *Miscellaneous* – компоненти змішаного типу (рис. 15).



Рис. 15. Меню розділу Miscellaneous

Даний розділ містить наступні компоненти:








-  запобіжник (струм спрацювання);
-  пристрій зберігання даних (ім'я файлу);
-  лінія передач із втратами (тип);
-  лінія передач без втрат (тип);
-  кварцовий резонатор (тип);
-  колекторний електродвигун постійного струму (тип);
-  електровакуумний триод (тип);
-  фільтри-накопичувачі на перемикаючих індуктивностях (індуктивність, опір, частота);
-  текстове вікно;
-  блок найменування.

14. *Instruments* – вимірювальні пристрої (рис. 16).



Рис. 16. Меню розділу Instruments

До складу вимірювальних пристроїв входять:

-  мультиметр;
-  генератор функцій;
-  осцилограф;
-  пристрій для побудови Бодє-кривих;
-  генератор слів;
-  логічний аналізатор;
-  логічний перетворювач.

Контрольні запитання

1. Назвіть основні функції команд меню програми Electronic Workbench.
2. Якими командами можна змінити графічне зображення компонента?
3. Якими командами можна змінити колір провідника і для чого це потрібно?
4. Яким чином можна підключити вивід компонента до провідника?
5. Назвіть елемент для створення в схемі вузла з'єднання. Які додаткові функції він може виконувати?

Завдання

1. Складіть схему кола, яка складається із послідовно включених батареї напругою 5 В і змінного резистора 10 кОм, включеного потенціометром. Між рухомим контактом потенціометра і одним із затискачів батареї включіть вольтметр. Змінюючи положення рухомого контакту натисканням назначеною вами клавiшею клавiатури, за показами вольтметра визначте напрям його перемiщення.
2. Складіть схему кола, яка складається із послідовно включених джерела постійного струму, амперметра і потенціометра 10 кОм, включеного в режимі змінного опору (до схеми підключається вивід рухомого контакту і одного із нерухомих). Змінюючи опір резистора, переконайтесь, що струм в колі не змінюється. Поясніть чому?
3. Складіть коло, яке складається із джерела постійного струму і запобіжника, встановивши струм спрацювання 10 мА. Змінюючи струм джерела, встановіть факт спрацювання запобіжника при вказаному значенні струму.
4. Складіть схему, яка складається із послідовно включених джерела постійного струму і реле. Змінюючи струм джерела, переконайтесь у правильності функціонування реле.
5. Складіть схему, яка складається із батареї і лампи розжарювання. Визначіть напругу, при якій лампа засвічується і перегорає.
6. Визначіть напругу спрацювання світлоіндикатора.

Лабораторна робота №1

Вивчення роботи напівпровідникового діода

Мета роботи:

1. Дослідження напруги і струму діода при прямому і зворотному зсуві $p-n$ -переходу.
2. Побудова і дослідження вольтамперної характеристики (ВАХ) для напівпровідникового діода.
3. Дослідження опору діода при прямому і зворотному зсуві за вольтамперною характеристикою.
4. Аналіз опору діода (прямий і зворотний зсув) на змінному і постійному струмі.
5. Вимірювання напруги вигину вольтамперної характеристики.

Прилади і елементи

Функціональний генератор, мультиметр, осцилограф, джерело постійної напруги, діод 1N4001, резистори.

Короткі відомості з теорії

Одним з досягнень Electronics Workbench є можливість змодельовати ситуації, що виникають при самих різних рівнях приладової оснащення дослідника, і освоїти методики вимірювання, відповідні цим рівням. Розглянемо ці ситуації на прикладі вимірювання ВАХ напівпровідникового діода.

Початківець радіоаматор може мати всього лише один універсальний прилад – мультиметр (який ми звикли називати тестером), але і в цьому випадку можна зняти ВАХ діоду або будь-якого іншого нелінійного двополюсника.

Простіше всього в цьому випадку вимірювати напругу на діоді в схемі рис. 1.1, під'єднуючи до діода через резистор джерела напруги різної величини. Струм діода при цьому можна обчислювати з виразу:

$$I_{\text{пр}} = (E - U_{\text{пр}}) / R \quad (1.1)$$

де $I_{\text{пр}}$ – струм діода в прямому напрямі; E – напруга джерела живлення; $U_{\text{пр}}$ – напруга на діоді в прямому напрямі.

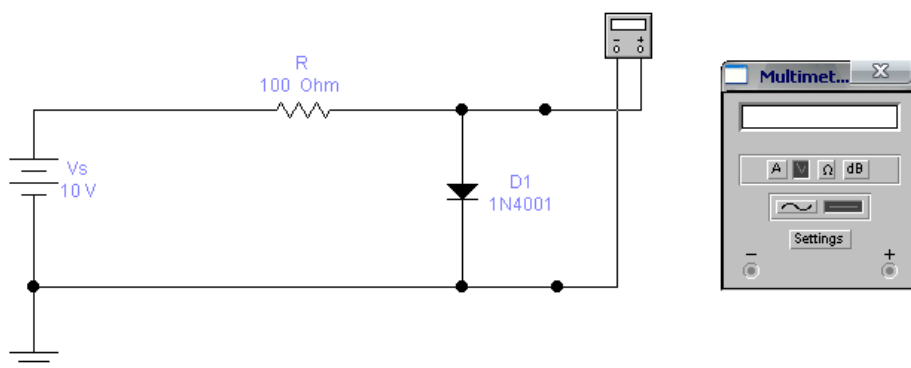


Рис. 1.1. Схема дослідження діоду

Змінюючи полярність включення діода в тій же схемі рис. 1.1, можна зняти ВАХ діода по тій же методиці і у зворотному напрямі

$$I_{зв} = (E - U_{зв}) / R \quad (1.2)$$

де $I_{зв}$ – струм діода в зворотному напрямі; E – напруга джерела живлення; $U_{зв}$ – напруга на діоді в зворотному напрямі.

Точність при таких вимірюваннях бажає бути кращою через розкид опорів у резисторів одного номіналу. І якщо Ви хочете одержати більш точну характеристику, використовуючи тільки один мультиметр, необхідно спочатку виміряти напругу в схемі рис. 1.1, а потім струм в схемі рис. 1.2. При цьому можна користуватися тільки мультиметром, підключаючи його то як вольтметр, то як амперметр.

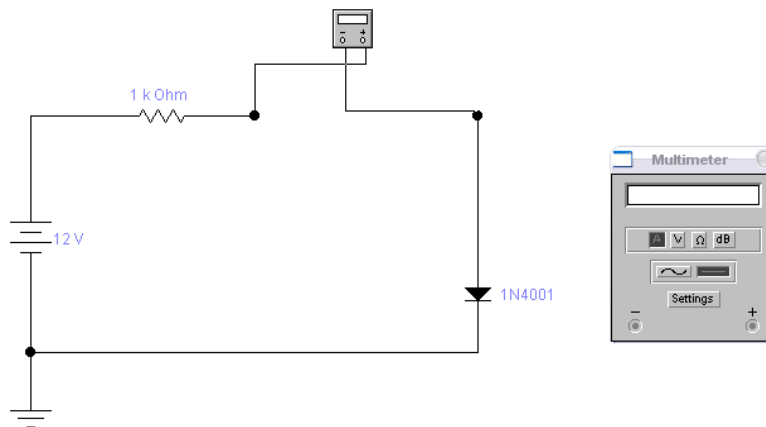


Рис. 1.2. Схема дослідження діоду

Набагато швидше можна виконати цю роботу, якщо у Вас є і вольтметр і амперметр. Тоді, включивши їх по схемі рис. 1.3, можна відразу бачити струм і напругу на табло цих приладів. ВАХ може бути одержана шляхом вимірювання напруг на діоді при протіканні різних струмів за рахунок зміни напруги джерела живлення V_s .

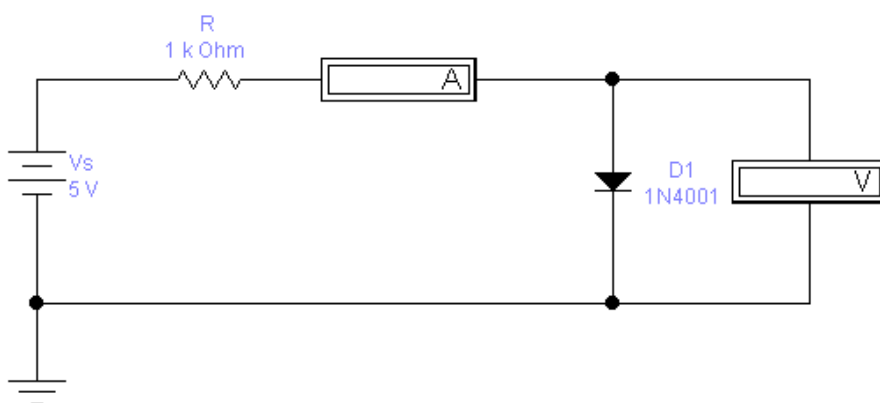


Рис. 1.3. Схема дослідження діоду

І нарешті, найбільш швидко і зручно можна досліджувати ВАХ, безпосередньо спостерігаючи її на екрані осцилографа (рис. 1.4). При такому підключенні координата точки по горизонтальній осі осцилографа буде пропорційна напрузі, а по вертикальній - струму через діод. Оскільки напруга у вольтах на резисторі 1 Ом чисельно рівна струму через діод в амперах ($I = U/R = U/1 = U$), по вертикальній осі можна безпосередньо прочитувати

значення струму. Якщо на осцилографі вибраний режим В/А, то величина, пропорційна струму через діод (канал В), відкладатиметься по вертикальній осі, а напруга (канал А) – по горизонтальній. Це і дозволить одержати вольтамперну характеристику безпосередньо на екрані осцилографа.

- При отриманні ВАХ діода за допомогою осцилографа на канал А замість точної напруги на діоді подається сума напруги діода і напруги на резисторі 1 Ом. Помилка через це буде мала, оскільки падіння напруги на резисторі буде значне менше ніж напруга на діоді.

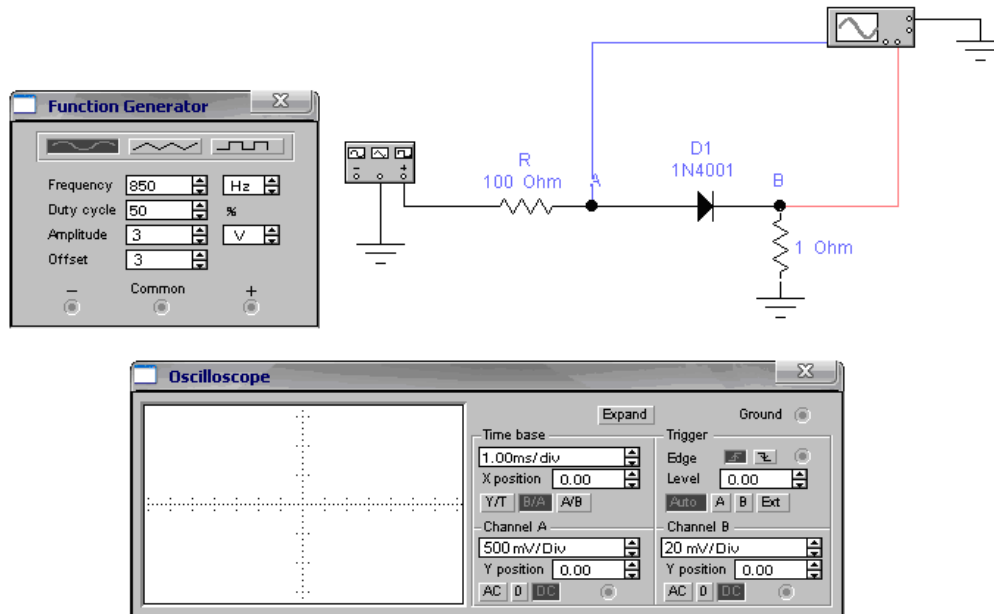


Рис. 1.4. Схема дослідження діоду

Через нелінійність діоду його не можна характеризувати величиною опору, як лінійний резистор. Відношення напруги на діоді до струму через нього U/I , тобто статичний опір, залежить від величини струму. Практично на істотну постійну складову струму діоду накладається невелика змінна становить (звичайно при цьому говорять, що елемент працює в режимі малих сигналів). В цьому випадку інтерес представляє диференціальний (або динамічне) опір dU/dI . Величина динамічного опору залежить від постійної складової струму діоду, що визначає робочу крапку на характеристиці.

Порядок проведення експериментів

Експеримент 1. Вимірювання напруги і обчислення струму через діод.

Отримайте завдання у викладача. Складіть схему (рис. 1.1) та включіть її. Мультиметр покаже напругу на діоді $U_{пр}$ при прямому зсуві. Переверніть діод і знову запусіть схему. Тепер мультиметр покаже напругу на діоді $U_{зв}$ при зворотному зсуві. Запишіть покази в розділ "Результати експериментів". Обчисліть струм діода при прямому $I_{пр}$ і зворотному $I_{зв}$ зсуві згідно формулам (1.1) і (1.2).

Експеримент 2. Вимірювання струму.

Складіть схему (рис. 1.2) та включіть її. Мультиметр покаже струм діода $I_{\text{пр}}$ при прямому зсуві. Переверніть діод і знову запусіть схему. Тепер мультиметр покаже струм $I_{\text{зв}}$ діода при зворотному зсуві. Запишіть покази в розділ "Результати експериментів".

Експеримент 3. Вимірювання статичного опору діоду.

Виміряйте опір діода при прямому і зворотному підключенні, використовуючи мультиметр в режимі омметра. Малі значення опору відповідають прямому підключенню. Покази прямого опору різні для різних шкал омметра. Чому?

Експеримент 4. Зняття ВАХ діоду.

а) Пряма гілка ВАХ. Складіть схему (рис. 1.3). Включіть схему. Послідовно встановлюючи значення ЕРС джерела рівними 5 В, 4 В, 3 В, 2 В, 1 В, 0.5 В, 0 В запишіть значення напруги $U_{\text{пр}}$ і струму $I_{\text{пр}}$ діода в таблицю а) розділу "Результати експериментів".

б) Зворотна гілка ВАХ. Переверніть діод. Послідовно встановлюючи значення ЕДС джерела рівними 0 В, 5 В, 10 В, 15 В запишіть значення струму $I_{\text{зв}}$ і напруги $U_{\text{зв}}$ в таблицю б) розділу "Результати експериментів".

в) За одержаними даними побудуйте графіки $I_{\text{пр}}(U_{\text{пр}})$ і $I_{\text{зв}}(U_{\text{зв}})$

г) Побудуйте дотичну до графіка прямої гілки ВАХ при $I_{\text{пр}}=4$ мА і оцініть диференціальний опір діоду по нахилу дотичної. Виконайте ту ж процедуру для $I_{\text{пр}}=0,4$ мА і $I_{\text{пр}}=0,2$ мА. Відповіді запишіть в розділ "Результати експериментів".

д) Аналогічно пункту г) оцініть диференціальний опір діода при зворотній напрузі 5 В і запишіть експериментальні дані в розділ "Результати експериментів".

е) Обчисліть опір діода на постійному струмі $I_{\text{пр}}=4$ мА по формулі $R_{\text{СТ}} = U_{\text{пр}}/I_{\text{пр}}$ і занесіть результат в розділ "Результати експериментів".

ж) Визначте напругу перегину. Результати занесіть в розділ "Результати експериментів". Напруга перегину визначається з ВАХ діоду, зміщеного в прямому напрямі, для точки, де характеристика зазнає різкий злам.

Експеримент 5. Отримання ВАХ на екрані осцилографа.

Складіть схему (рис. 1.4). Включіть її. На ВАХ, що з'явилася на екрані осцилографа, по горизонтальній осі зчитується напруга на діоді в мілівольтах (канал А), а по вертикальній – струм в міліамперах (канал В, 1 мВ відповідає 1 мА). Зверніть увагу на згин ВАХ. Заміряйте і запишіть в розділ "Результати експериментів" величину напруги перегину.

Результати експериментів

1. Вимірювання напруги і обчислення струму через діод

Виміряйте і запишіть напруги на діоді:

Напруга при прямому зміщенні, $U_{\text{пр}}$ _____

Напруга при зворотному зміщенні, $U_{\text{зв}}$ _____

Струм при прямому зміщенні, $I_{\text{пр}}$ _____

Струм при зворотному зміщенні, $I_{\text{зв}}$ _____

2. Вимірювання струму

Виміряйте і запишіть струм при прямому і зворотному зміщенні.

Струм при прямому зміщенні, $I_{\text{пр}}$ _____

Струм при зворотному зміщенні, $I_{\text{зв}}$ _____

3. Вимірювання статичного опору діоду

Опір діода при прямому зміщенні _____

Опір діода при зворотному зміщенні _____

4. Зняття ВАХ діода.

а) Обчисліть і запишіть струми і напруги.

а). Пряма вітка ВАХ

Е, В	$U_{\text{пр}}$, мВ	$I_{\text{пр}}$, мА
5		
4		
3		
2		
1		
0.5		
0		

б). Зворотна вітка ВАХ

Е, В	$U_{\text{зв}}$, мВ	$I_{\text{зв}}$, мА
0		
5		
10		
15		

в). Побудуйте графіки прямої і оберненої вітки ВАХ графіків ВАХ.

г). Обчисліть по ВАХ диференціальний опір діода при прямому зміщенні.

$R_{\text{диф}}$ при $I_{\text{пр}}=4$ мА _____

$R_{\text{диф}}$ при $I_{\text{пр}}=0,4$ мА _____

$R_{\text{диф}}$ при $I_{\text{пр}}=0,2$ мА _____

д) Обчисліть за ВАХ диференціальний опір діода при оберненому зміщенні.

$R_{\text{диф}}$ при $U_{\text{зв}}=5$ В _____

е). Обчисліть $R_{\text{ст}}$ при $I_{\text{пр}}=4$ мА _____

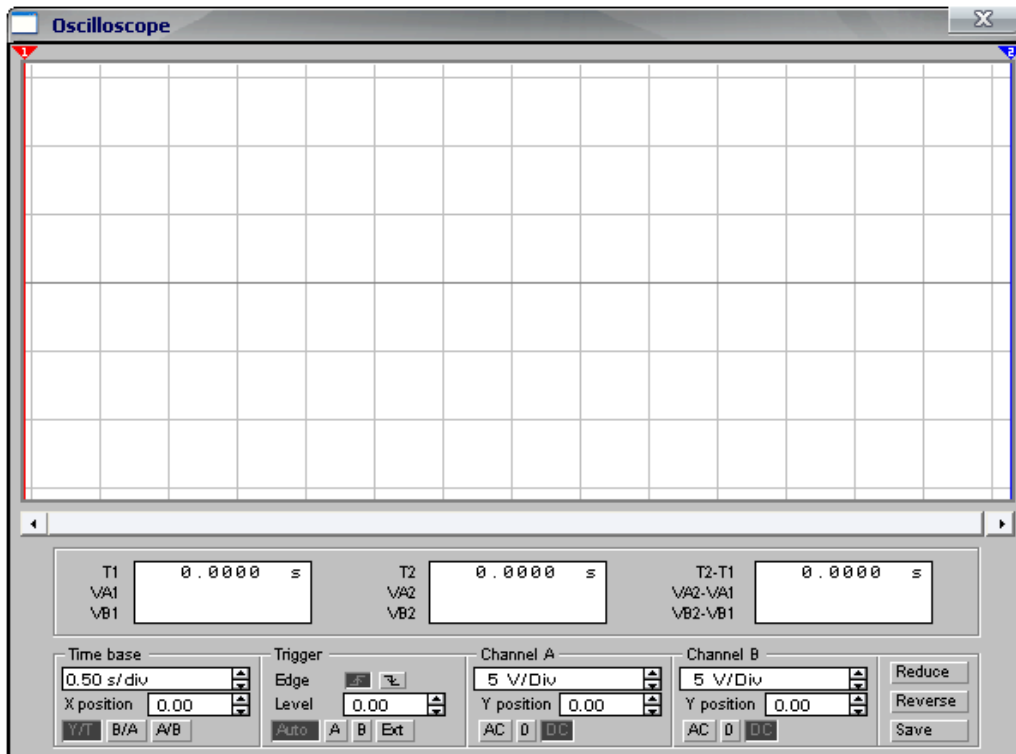
ж). Напряга вигину, одержана з ВАХ.

$U_{\text{виг}}$ _____

5. Отримання ВАХ на екрані осцилографа.

Напряга вигину, визначена з ВАХ, одержаної за допомогою осцилографа.

$U_{\text{виг}}$ _____



Контрольні запитання

1. Порівняйте напруги на діоді при прямому і зворотному зсуві за порядком величин. Чому вони різні?
2. Чи порівнянні виміряні значення струму при прямому зсуві з обчисленими значеннями?
3. Чи порівнянні виміряні значення струму при зворотному зсуві з обчисленими значеннями?
4. Порівняйте струми через діод при прямому і зворотному зсуві по порядку величин. Чому вони різні?
5. Що таке струм насичення діоду?
6. Чи набагато відрізняються прямий і зворотний опори діоду при вимірюванні їх мультиметром в режимі омметра? Чи можна за цими вимірюваннями судити про справність діоду?
7. Чи існує відмінність між величинами опору діоду на змінному і постійному струму?
8. Чи співпадають точки вигину ВАХ, одержані за допомогою осцилографа і побудовані за наслідками обчислень?

Лабораторна робота №2

Дослідження параметрів і характеристик стабілітрона

Мета роботи

1. Побудова зворотної вітки ВАХ стабілітрона і визначення напруги стабілізації.
2. Обчислення струму і потужності, що розсіюються стабілітроном.
3. Визначення диференціального опору стабілітрона по вольтамперній характеристиці.
4. Дослідження зміни напруги стабілітрону при зміні входної напруги в схемі параметричного стабілізатора.
5. Дослідження зміни напруги на стабілітроні при зміні опору в схемі параметричного стабілізатора.

Прилади і елементи

Функціональний генератор, мультиметр, осцилограф, джерело постійної напруги, стабілітрон 1N473, резистори.

Короткі відомості з теорії

При підключенні стабілітрона до джерела постійної напруги через резистор отримуємо найпростішу схему параметричного стабілізатора (рис. 2.1). Струм I_{CT} стабілітрона може бути визначений обчисленням спаду напруги на резисторі R :

$$I_{CT} = (E - U_{CT}) / R.$$

Напруга стабілізації U_{CT} стабілітрона визначається точкою на ВАХ, в якій струм стабілітрона різко збільшується. Потужність розсіювання стабілітрона P_{CT} обчислюється як добуток струму I_{CT} на напругу U_{CT} :

$$P_{CT} = I_{CT} \cdot U_{CT}.$$

Диференціальний опір стабілітрона обчислюється так само, як для діода, за нахилом ВАХ.

Порядок проведення експериментів

Експеримент 1. Вимірювання напруги і обчислення струму через стабілітрон.

а) Отримайте завдання у викладача. Складіть схему, подану на рис. 2.1. Виміряйте значення напруги U_{CT} на стабілітроні при значеннях ЕРС джерела, приведених в таблиці розділу "Результати вимірювань", і занесіть результати вимірювань в ту ж таблицю.

б) Обчисліть струм I_{CT} стабілітрона для кожного значення напруги U_{CT} . Результати обчислень занесіть в таблицю.

в. За даними таблиці побудуйте ВАХ стабілітрона.

г) Оцініть за ВАХ стабілітрона напругу стабілізації.

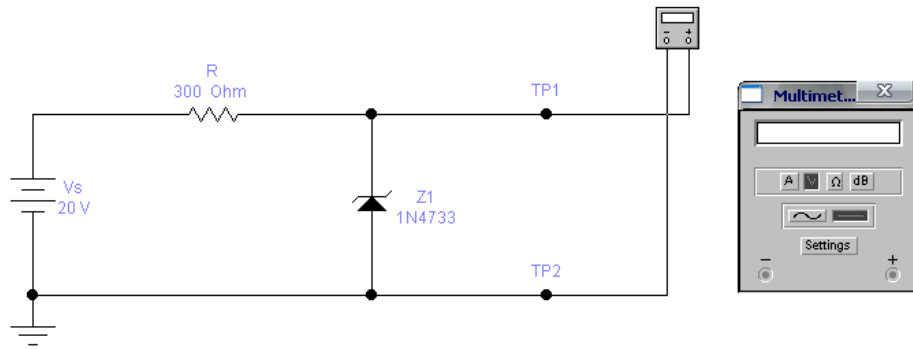


Рис. 2.1. Схема для зняття характеристик стабілітрона

д) Обчисліть потужність $P_{ст}$, що розсіюються на стабілітроні при напрузі $E = 20$ В.

е) Виміряйте нахил ВАХ в області стабілізації напруги і оцініть диференціальний опір стабілітрона в цій області.

Експеримент 2. Отримання характеристики навантаження параметричного стабілізатора.

а) Підключіть резистор $R_L = 75$ Ом паралельно стабілітрону. Значення джерела ЕРС встановіть рівним 20 В. Включіть схему. Запишіть значення напруги $U_{ст}$ на стабілітроні в розділ "Результати експериментів".

б) Повторіть пункт а) при короткому замиканні і при опорах резистора R_L 100 Ом, 300 Ом, 600 Ом, 1 кОм.

в) Розрахуйте струм I_1 через резистор R , включений послідовно з джерелом, струм I_L через резистор R_L , і струм стабілітрона $I_{ст}$ для кожного значення R_L з таблиці, приведеної в розділі "Результати експериментів". Результати занесіть в таблицю.

Експеримент 3. Отримання ВАХ стабілітрона на екрані осцилографа.

Складіть схему, подану на рис. 2.1. Включіть її. Запишіть в експериментальні дані напругу стабілізації, одержану з графіка на екрані осцилографа.

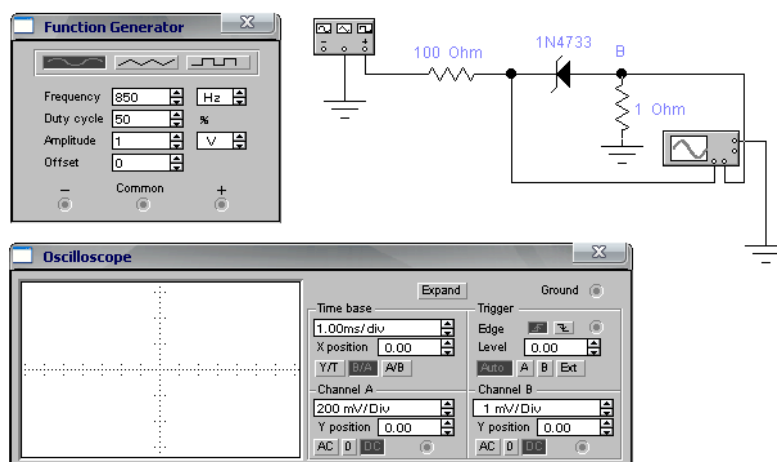


Рис. 2.1. Схема для зняття осцилограми стабілітрона

Результати експериментів

1. Вимірювання напруги і обчислення струму через стабілітрон.

а)... в). Дані для побудови
ВАХ стабілітрона.

Побудова ВАХ стабілітрону.

$E, В$	$U_{пр}, мВ$	$I_{пр}, мА$
0		
4		
6		
10		
15		
20		
25		
30		
35		

д) Напруга стабілізації $U_{ст}$ _____

е) Потужність розсіювання стабілітрона $P_{ст}$ при напрузі $E = 20 В$

$P_{ст}$ _____

ж) Диференціальний опір стабілітрона, визначений за нахилом графіка в
робочій області $R_{диф}$ _____

2. Вимірювання точок характеристики навантаження параметричного стабілізатора.

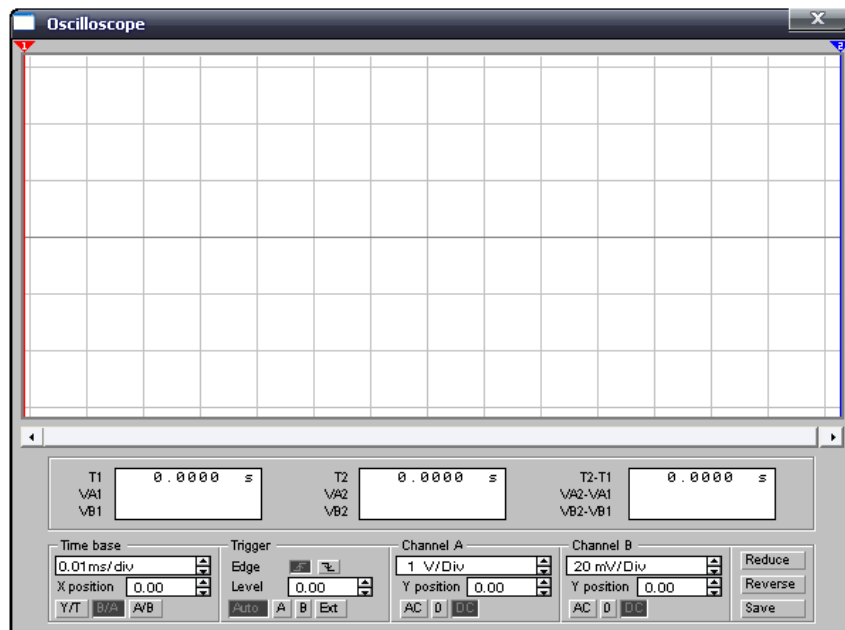
Напруга стабілітрона $U_{ст}$, і значення $I_1, I_L, I_{ст}$ при $E = 20 В$

$R_L, Ом$	$U_{ст}, В$	$I_1, мА$	$I_L, мА$	$I_{ст}, мА$
75				
100				
200				
300				
600				
1К				
к.з.				

3. Отримання ВАХ на екрані осцилографа.

Напруга стабілізації, визначена з ВАХ, одержаної за допомогою осцилографа

Напруга стабілізації $U_{ст}$ _____



Контрольні запитання

1. Порівняйте відносну зміну напруги на стабілітроні з відотною зміною напруги живлення. Оцініть ступінь стабілізації.
2. Чи впливає значення опору навантаження на ступінь стабілізації вихідної напруги стабілізатора?
3. Як змінюється напруга стабілітрона U_{CT} , коли струм стабілітрона стає меншим 20 мА?
4. Яке значення струму стабілітрона I_{CT} при входній напрузі 15 В?
5. Яке значення струму стабілітрона I_{CT} при значенні опору $R = 200 \text{ Ом}$?
6. Як змінюється напруга U_{CT} виході стабілізатора, при зменшенні опору R ?

Лабораторна робота №3

Однонапівперіодні та двохнапівперіодні випрямлячі

Мета роботи

1. Аналіз процесів в схемах однонапівперіодного і двохнапівперіодного випрямлячів.
2. Порівняння форм вхідної і вихідної напруги для однонапівперіодного і двохнапівперіодного випрямлячів.
3. Визначення середнього значення вихідної напруги (постійної складової) в схемах однонапівперіодного і двохнапівперіодного випрямлячів.
4. Визначення частоти вихідного сигналу в схемах однонапівперіодного і двохнапівперіодного випрямлячів з виводом середньої точки трансформатора.
5. Порівняння максимальних значень вихідної напруги для схем двохнапівперіодного і однонапівперіодного випрямлячів.
6. Порівняння частот вихідного сигналу для схем двохнапівперіодного і однонапівперіодного випрямлячів.
7. Аналіз зворотної напруги U_{\max} на діоді в схемах однонапівперіодного і двохнапівперіодного випрямлячів.
8. Дослідження роботи трансформатора в схемі випрямляча.

Прилади і елементи

Мультиметр, осцилограф, джерело змінної напруги, трансформатори, кремнієві діоди 1N4001, резистори.

Короткі відомості з теорії

Середнє значення вихідної напруги U_d (постійна складова) однонапівперіодного випрямляча (рис. 3.1) обчислюється по формулі:

$$U_d = \frac{U_m}{\pi}, \quad (3.1)$$

Значення U_d двохнапівперіодного випрямляча (рис. 3.2) удвічі більше:

$$U_d = \frac{2U_m}{\pi}, \quad (3.2)$$

Частота вихідного сигналу f для схеми з однонапівперіодним або двохнапівперіодним випрямлячем обчислюється як величина, зворотна періоду вихідного сигналу:

$$f = \frac{1}{T}.$$

При цьому період сигналу на виході однонапівперіодного випрямляча в два рази більший, ніж у двохнапівперіодного. Максимальна зворотна напруга U_{\max} на діоді однонапівперіодного випрямляча рівна максимуму вхідної напруги. Максимальна оборотна напруга U_{\max} на кожному діоді

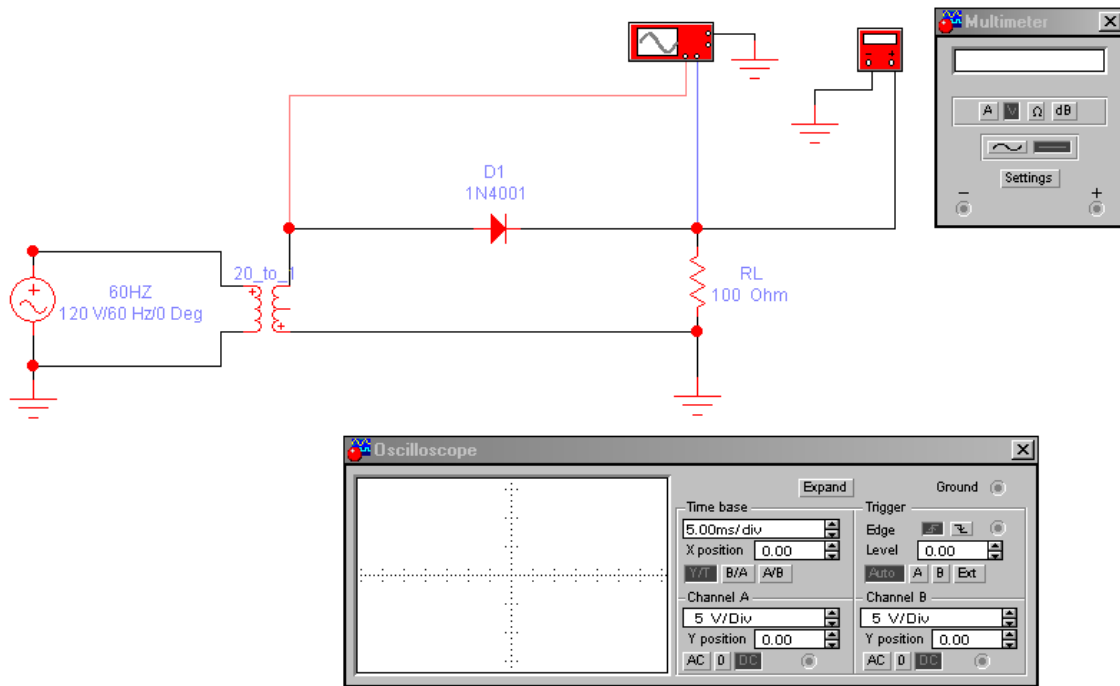


Рис. 3.1. Схема дослідження однонапівперіодного випрямляча

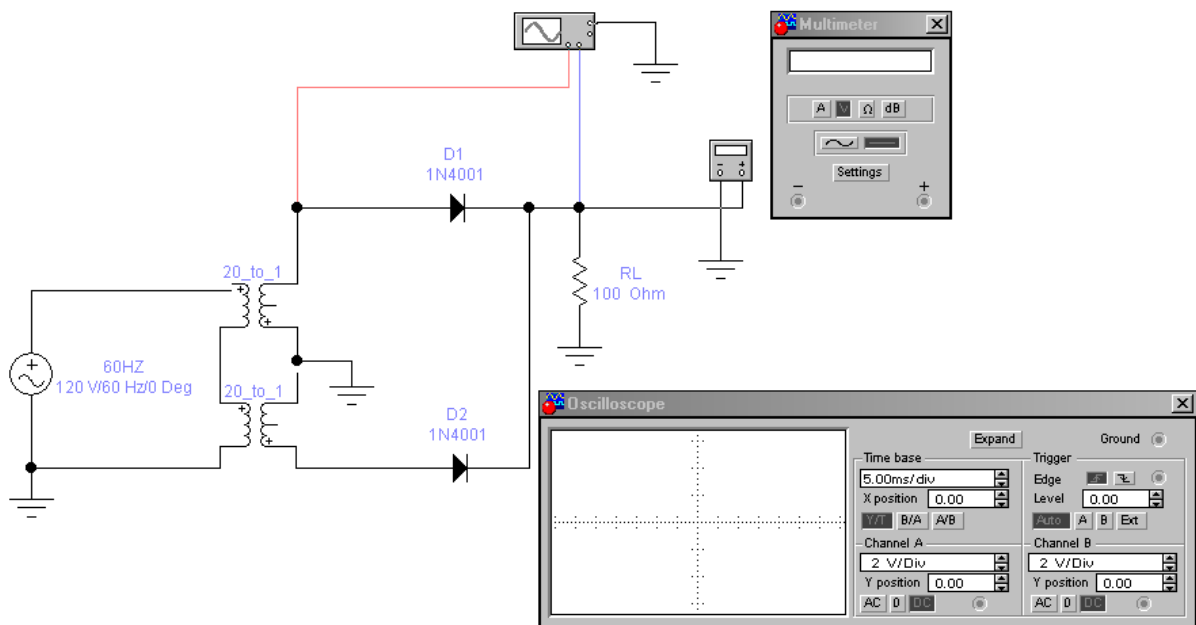


Рис. 3.2. Схема дослідження двохнапівперіодного випрямляча

двохнапівперіодного випрямляча з виводом від середньої точки трансформатора рівна різниці подвоєного максимального значення напруги на вторинній обмотці трансформатора U_{2m} і прямого спаду напруги на діоді U_{np} :

$$U_{\max} = U_{2m} - U_{np} .$$

Порядок проведення експериментів

Експеримент 1. Дослідження вхідної і вихідної напруги однонапівперіодного випрямляча.

а) Отримайте завдання у викладача. Побудуйте схему, зображену на рис. 3.1. Включіть схему. На вхід А осцилографа подається вихідний сигнал, а

на вхід В – вхідний. Замалюйте осцилограми в розділі “Результати експериментів”. Виміряйте і запишіть максимальні вхідні і вихідні напруги.

б) Виміряйте період T вихідної напруги за осцилограмою і запишіть результат в розділ “Результати експериментів”. Обчисліть частоту вихідного сигналу.

в) Визначте максимальну оборотну напругу U_{\max} на діоді і запишіть в розділ “Результати експериментів”.

г) Обчисліть коефіцієнт трансформації як відношення амплітуд напруг на первинній і вторинній обмотці трансформатора в режимі, близькому до холостого ходу. Запишіть результат в розділ “Результати експериментів”.

д) Обчисліть середнє значення вихідної напруги U_d (постійна складова). Результат запишіть в розділ “Результати експериментів”. Запишіть постійну складову напруги на виході, виміряну мультиметром.

Експеримент 2. Дослідження вхідної і вихідної напруг двохнапів-періодного випрямляча з виводом від середньої точки трансформатора.

а). Побудуйте схему, зображену на рис. 3.2. На вхід А осцилографа подається вихідний сигнал, а на вхід В – вхідний. Замалюйте отримані осцилограми в розділі “Результати експериментів”. Виміряйте і запишіть максимальні вхідні і вихідні напруги.

б) Виміряйте період T по осцилограмі вихідної напруги і запишіть результат в розділ “Результати експериментів”. Обчисліть частоту вихідного сигналу.

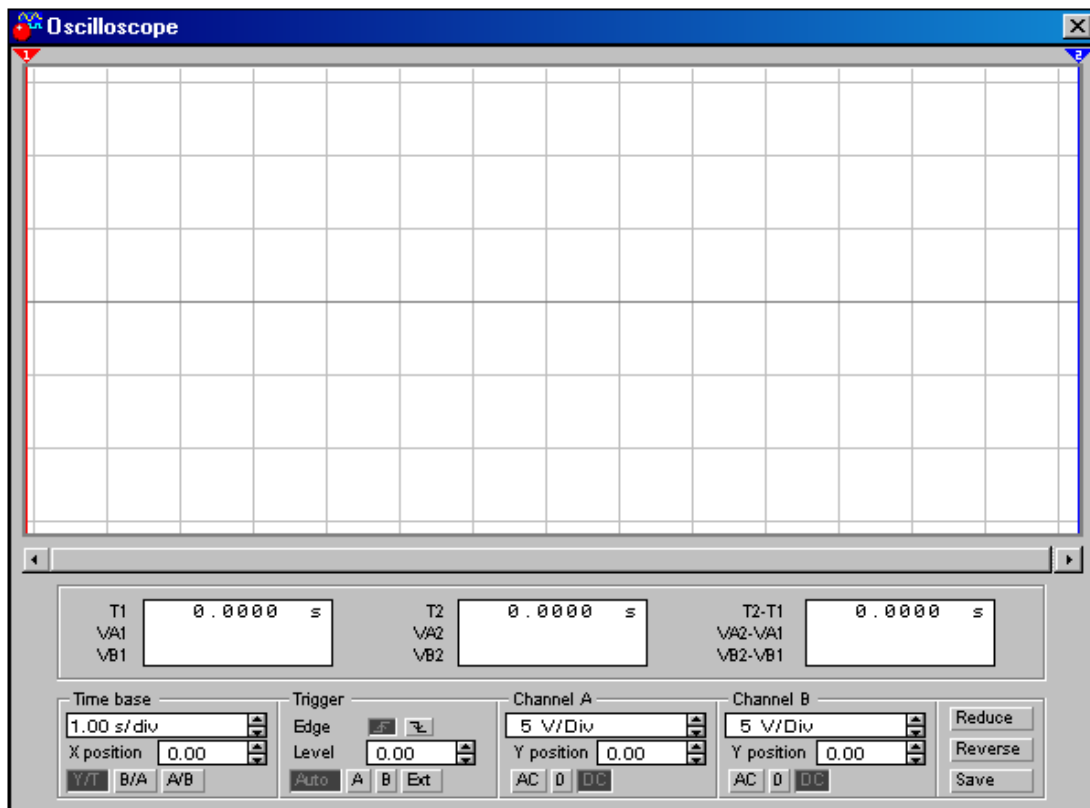
в) По осцилограмі вихідної напруги, визначте максимальну зворотну напругу U_{\max} на діоді. Запишіть результат в розділ “Результати експериментів”.

г). Обчисліть середнє значення U_d вихідної напруги (постійна складова) Запишіть результат в розділ “Результати експериментів”. Запишіть постійну складову напруги на виході, виміряну мультиметром.

Результати експериментів

Експеримент 1. Дослідження вхідної і вихідної напруги однонапівперіодного випрямляча.

а)



Максимальна вхідна напруга B _____

Максимальна вихідна напруга B _____

б) Період вихідного сигналу T B _____

Частота вихідного сигналу f P _____

в) Максимальна оборотна напруга на діоді U_{\max} B _____

г) Коефіцієнт трансформації P _____

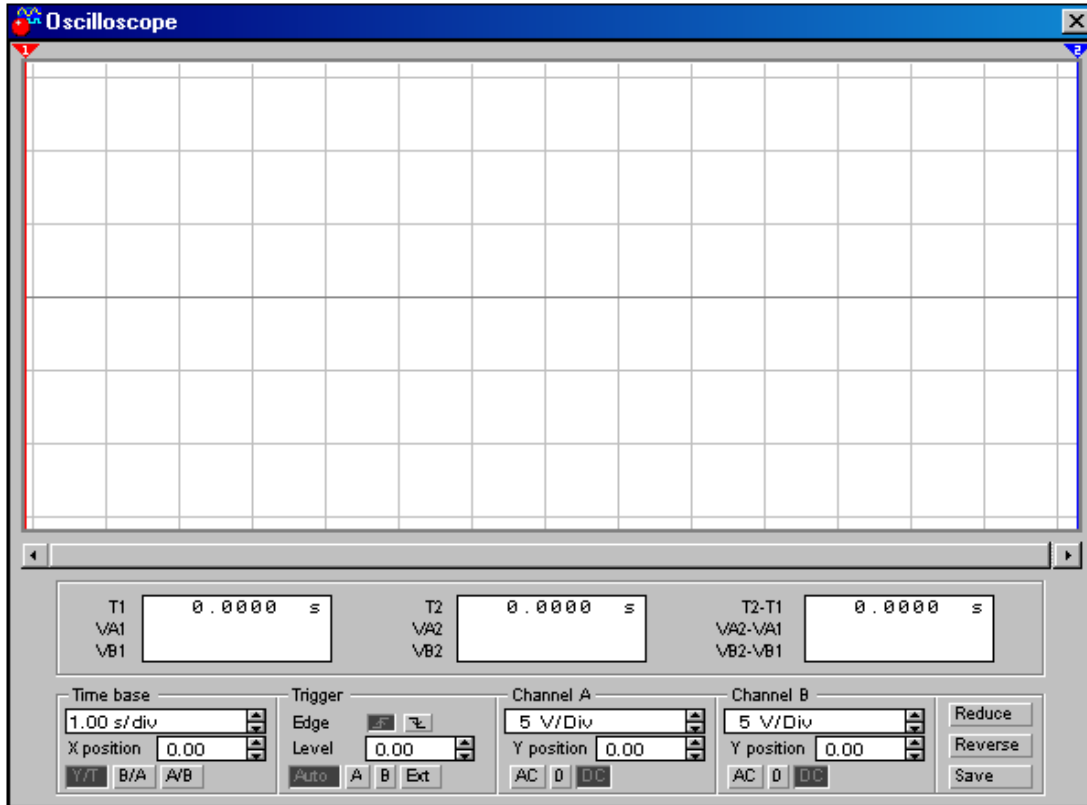
д) Постійна складова напруги на виході P _____
 B _____

Експеримент 2. Дослідження вхідної і вихідної напруги двохнапівперіодного випрямляча з виводом від середньої точки трансформатора.

a)

Максимальна вхідна напруга B _____

Максимальна вихідна напруга B _____



б) Період вихідного сигналу T B _____

Частота вихідного сигналу f P _____

в) Максимальна оборотна напруга B _____
на діоді U_{\max}

г) Постійна складова напруги на виході P _____

B _____

Контрольні запитання

1. Які відмінності між вхідним і вихідним сигналами однонапівперіодного випрямляча?

2. Чи однакові обчислене і виміряне мультиметром середнє значення вихідної напруги U_d ?

3. Чи однакові частоти вхідного і вихідного сигналів в схемах одно- і двохнапівперіодного випрямлячів?
4. Як впливає спад напруги на діоді на вихідну напругу випрямляча?
5. Чи перевищує максимальна від'ємна напруга U_{\max} на діоді значення, гранично допустиме для діода 1N4001?
6. Навіщо необхідні трансформатори в схемах випрямлячів?
7. Які відмінності між сигналом на вході і на виході при двохнапівперіодному випрямлянні?
8. Чим відрізняється вихідна напруга в схемах однонапівперіодного і двохнапівперіодних випрямлячів?
9. Порівняйте максимальну оборотну напругу на діодах в однонапівперіодному і двохнапівперіодному випрямлячах.
10. Чи однакові частоти вхідної і вихідної напруги двохнапівперіодного випрямляча? Як вони співвідносяться з частотами вхідної і вихідної напруги для однонапівперіодного випрямляча?

Лабораторна робота №4

Мостовий випрямляч

Мета роботи

1. Аналіз процесів в схемі випрямного діодного моста.
2. Дослідження осцилограм вхідної і вихідної напруги для випрямного моста.
3. Порівняння осцилограм вихідної напруги випрямного моста і двохнапівперіодного випрямляча із виводом середньої точки трансформатора.
4. Вимірювання середнього значення вихідної напруги (постійна складова) в схемі випрямного моста.
5. Порівняння максимальної напруги на діодах в мостовому і двохнапівперіодному випрямлячах.
6. Порівняння частот вихідної напруги в мостовому і двохнапівперіодному випрямлячах.
7. Обчислення максимальної оборотної напруги U_{\max} на діоді випрямного моста.

Прилади і елементи

Мультиметр, осцилограф, джерело змінної напруги 120 В, трансформатори, кремнієві діоди 1N4001, резистори.

Короткі відомості з теорії

Коефіцієнт трансформації визначається відношенням числа витків первинної обмотки до числа витків вторинної обмотки трансформатора і в схемі, зображеній на рис. 4.1, складає 20 : 1.

Середнє значення вихідної напруги U_d (постійна складова) мостового випрямляча (рис. 4.1) обчислюється по формулі:

$$U_d = \frac{2U_{2m}}{\pi}, \quad (4.1)$$

де максимум вторинної напруги на повній обмотці трансформатора U_{2m} обчислюється по формулі:

$$U_{2m} = U_{1m} \frac{n_2}{n_1} = \frac{U_{1m}}{20}, \quad (4.2)$$

де U_{1m} – максимальне значення напруги на первинній обмотці трансформатора.

Максимальна оборотна напруга U_{\max} на кожному діоді для схеми з випрямним мостом рівна напрузі на вторинній обмотці U_{2m} .

Частота вихідної напруги f для схеми з двохнапівперіодним мостовим випрямлячем обчислюється за формулою:

$$f = \frac{1}{T}, \quad (4.3)$$

де T – період напруги на виході випрямляча.

Порядок проведення експериментів

Експеримент 1. Дослідження вхідної і вихідної напруг мостового випрямляча.

а) Отримайте завдання у викладача. Складіть електричну схему, подану на рис. 4.1. На вхід А осцилографа подається вхідний сигнал, а на вхід В – вихідний. Зарисуйте осцилограми в розділі “Результати експериментів”. Виміряйте максимальні вхідну і вихідну напруги.

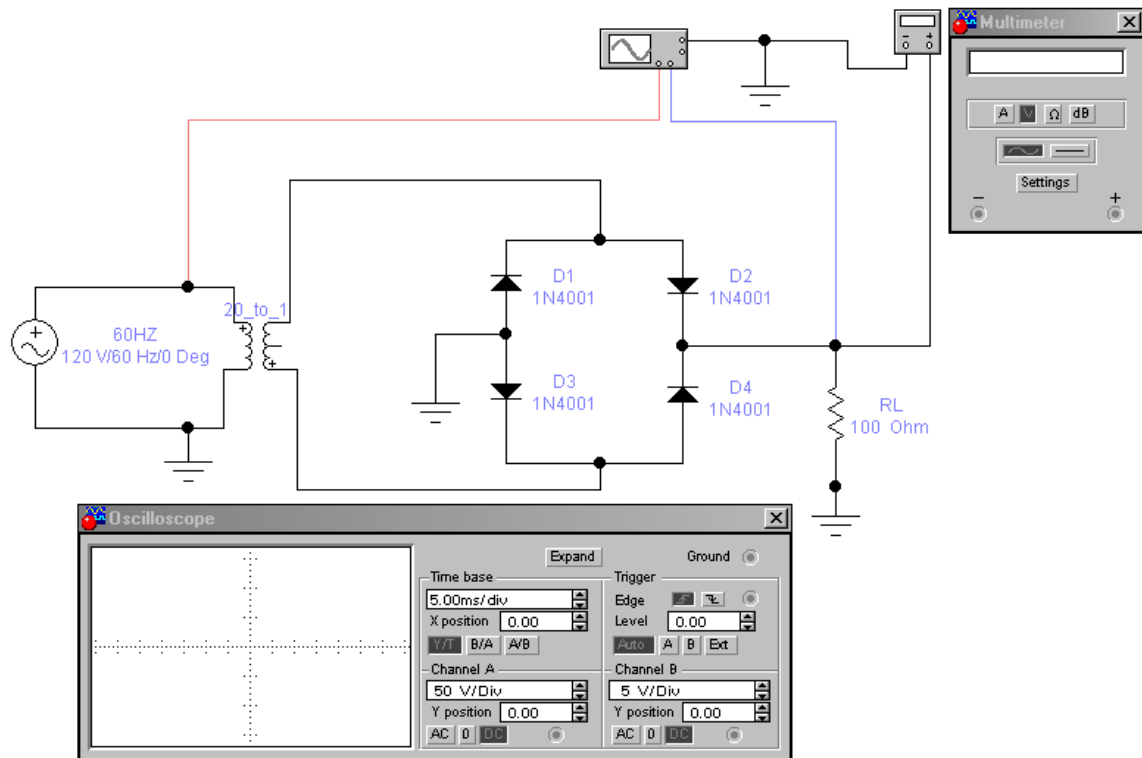


Рис. 4.1. Схема дослідження мостового випрямляча

б) Виміряйте період T по осцилограмі вихідної напруги і запишіть результат в розділ “Результати експериментів”. Знаючи період, обчисліть частоту вихідного сигналу.

в) Визначте максимальну оборотну напругу U_{\max} на діоді і запишіть в розділ “Результати експериментів”.

г) Обчисліть коефіцієнт трансформації як відношення амплітуд напруг на первинній і вторинній обмотці трансформатора в режимі, близькому до холостого ходу. Запишіть результат в розділ “Результати експериментів”.

д) Обчисліть середнє значення вихідної напруги U_d (постійна складова). Результат запишіть в розділ “Результати експериментів”. Запишіть постійну складову напруги на виході, виміряну мультиметром.

Результати експериментів

Експеримент 1. Дослідження вхідної і вихідної напруг мостового випрямляча.

а)

Максимальна вхідна напруга

B _____

Максимальна вихідна напруга

B _____

б) Період вихідного сигналу T

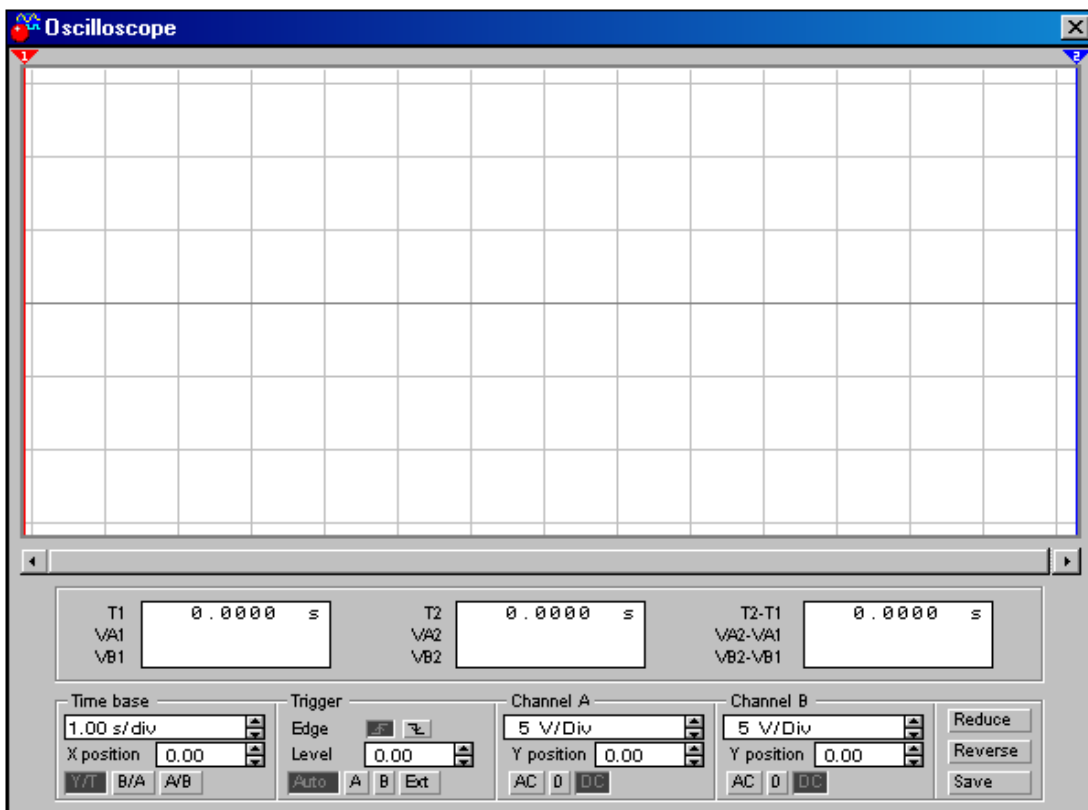
B _____

Частота вихідного сигналу f

P _____

в) Максимальна оборотна напруга на діоді U_{\max}

B _____



г) Коефіцієнт трансформації

P _____

д) Постійна складова напруги на виході

P _____

B _____

Контрольні запитання

1. За осцилограмами вихідної напруги, визначте, чи здійснює випрямний міст однонапівперіодне або двохнапівперіодне випрямлення?
2. Як відрізняються змінні складові напруг на вході і виході випрямного моста?

3. Чим відрізняються вихідні напруги в схемах з випрямним мостом і двохнапівперіодним випрямлячем із виводом від середньої точки трансформатора?

4. Порівняйте максимальні оборотні напруги на діодах для схем випрямного моста і двохнапівперіодного випрямляча із виводом середньої точки трансформатора.

5. Чи однакові середнє значення вихідної напруги U_d (постійна складова) випрямного моста і двохнапівперіодного випрямляча?

6. Чи однакові частоти вхідної і вихідної напруги випрямного моста? Як вони співвідносяться з частотами вхідної і вихідної напруг двохнапівперіодного випрямляча?

7. Чи перевищує максимальна оборотна напруга U_{\max} на діоді мостового випрямляча значення, гранично допустиме для діода 1N4001?

8. Чи однакові середнє значення вихідної напруги U_d в схемі випрямного моста, обчислене за формулі (4.1) і виміряне за допомогою мультиметра?

Лабораторна робота №5

Ємнісний фільтр на виході випрямляча

Мета роботи

1. Дослідження впливу конденсатора на форму вихідної напруги однонапівперіодних і двохнапівперіодних випрямлячів.
2. Вимірювання частоти вихідної напруги випрямляча з ємнісним фільтром.
3. Дослідження впливу величини ємності конденсатора фільтру на середнє значення вихідної напруги.
4. Порівняння середнього значення вихідної напруги для однонапівперіодних і двохнапівперіодних випрямлячів з ємнісним фільтром.

Прилади і елементи

Мультиметр, осцилограф, джерело змінної напруги, трансформатори, резистори, конденсатори.

Короткі відомості з теорії

Якщо включити на вихід будь-якого з випрямлячів, розглянутих в лабораторних роботах № 3 і 4, конденсатор, то змінна складова вихідної напруги буде ослаблена.

Середнє значення вихідної напруги U_d випрямляча з ємнісним фільтром може бути приблизно оцінено із співвідношення:

$$U_d = \frac{U_{2\max} + U_{2\min}}{2} = U_{2\max} - \frac{\Delta U_2}{2}, \quad (5.1)$$

де $U_{2\max}$ і $U_{2\min}$ – максимум і мінімум вихідної напруги,

$$\Delta U_2 = U_{2\max} - U_{2\min}.$$

Для оцінки якості фільтру звичайно використовують коефіцієнт пульсацій q вихідної напруги, який обчислюється із співвідношення:

$$q = \frac{\Delta U_2}{U_d} \cdot 100\%, \quad (5.2)$$

На рис. 5.1 і 5.2 показані відповідно однонапівперіодний і двохнапівперіодний випрямлячі з ємнісним фільтром на виході.

Порядок проведення експериментів

Експеримент 1. Визначення коефіцієнта пульсацій однонапівперіодного випрямляча.

а) Отримайте завдання у викладача. Складіть схему, зображену на рис. 5.1. На вхід А осцилографа подається вхідна напруга, а на вхід В – вихідна. Виміряйте максимум вихідної напруги $U_{2\max}$ і різницю між максимумом і мінімумом вихідної напруги ΔU_2 . Зарисуйте осцилограми в розділ “Результати експериментів”.

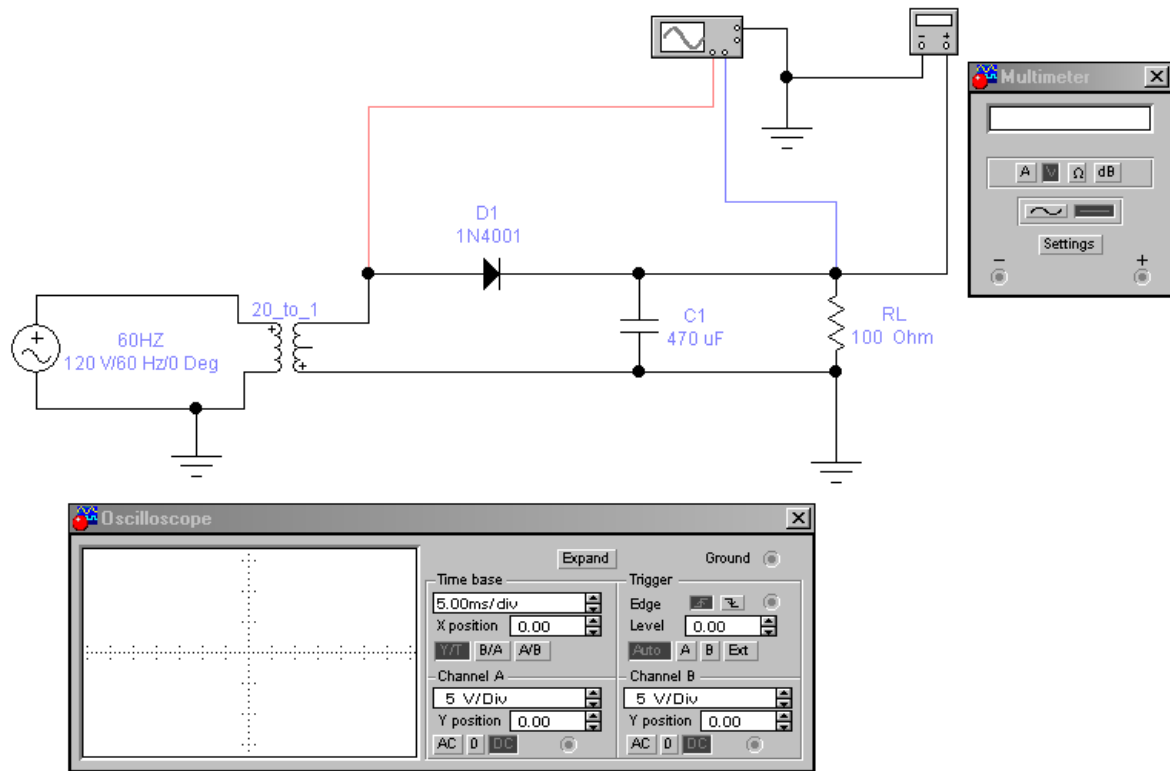


Рис. 5.1. Схема однонапівперіодного випрямляча з ємнісним фільтром на виході

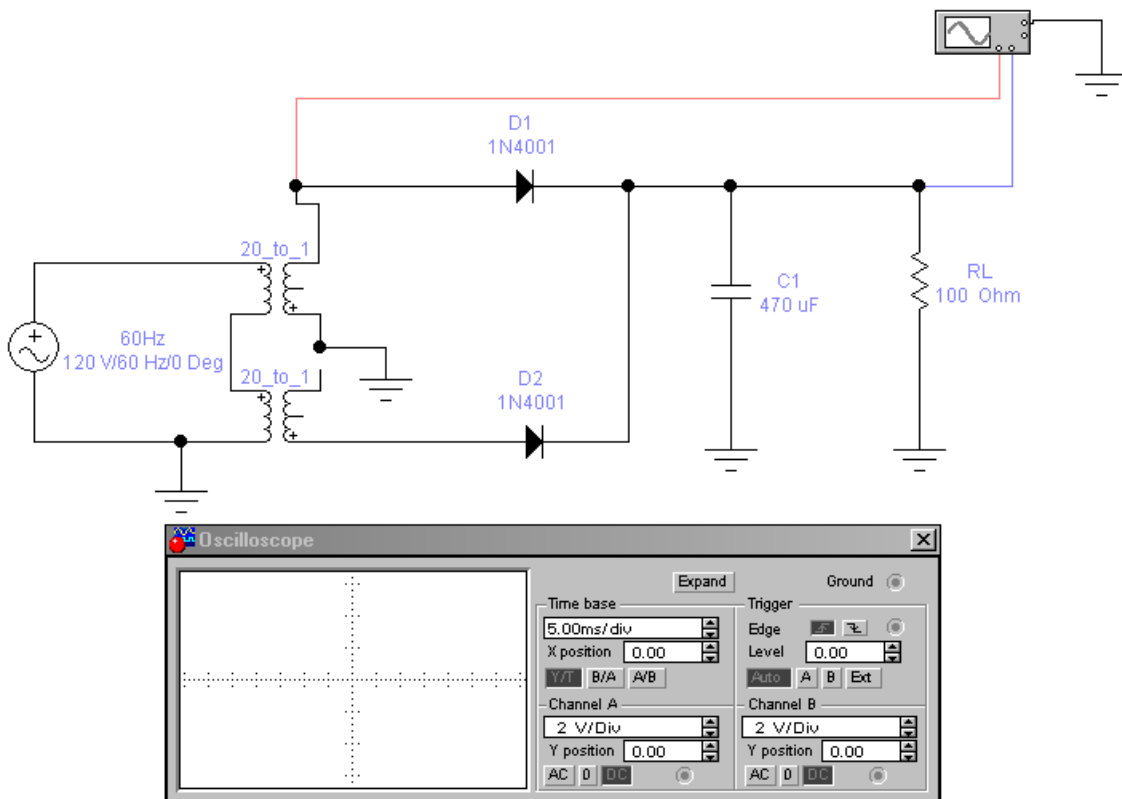


Рис. 5.2. Схема двохнапівперіодного випрямляча з ємнісним фільтром на виході

б) Обчисліть середнє значення вихідної напруги U_d за результатами вимірювань. Результат запишіть у розділ “Результати експериментів”.

в) Запишіть постійну складову вихідної напруги за показами мультиметра. Порівняйте значення, отримані обома методами.

г) Обчисліть коефіцієнт пульсацій вихідного сигналу за формулою (5.2).

Експеримент 2. Визначення коефіцієнта пульсацій однонапівперіодного випрямляча при зміні ємності фільтру.

а). Відключіть мультиметр в схемі (рис. 5.1). Встановіть ємність конденсатора рівною 100 мкФ. Включіть схему. Виміряйте максимум вихідної напруги і різницю між максимумом і мінімумом напруг на виході випрямляча за показами осцилографа. Результат запишіть в розділ “Результати експериментів”.

б) Обчисліть середнє значення напруги U_d за формулою (5.1).

в) Обчисліть коефіцієнт пульсацій вихідної напруги за формулою (5.2).

Експеримент 3. Визначення коефіцієнта пульсацій однонапівперіодного випрямляча при зміні струму навантаження.

а) Встановіть ємність конденсатора в схемі (рис. 5.1) рівною 470 мкФ. Змініть опір резистора навантаження до 200 Ом. Включіть схему. Виміряйте максимум вихідної напруги і різницю між максимумом і мінімумом напруг на виході випрямляча за показами осцилографа. Результат запишіть в розділ “Результати експериментів”.

б) Обчисліть середнє значення напруги U_d за формулою (5.1).

в) Обчисліть коефіцієнт пульсацій вихідної напруги за формулою (5.2).

Експеримент 4. Визначення коефіцієнта пульсацій двохнапівперіодного випрямляча.

а) Нарисуйте схему, зображену на рис. 5.1. На вхід А осцилографа подається вхідна напруга, а на вхід В – вихідна. Виміряйте максимум вихідної напруги $U_{2\max}$ і різницю між максимумом і мінімумом вихідної напруги ΔU_2 . Зарисуйте осцилограми в розділ “Результати експериментів”.

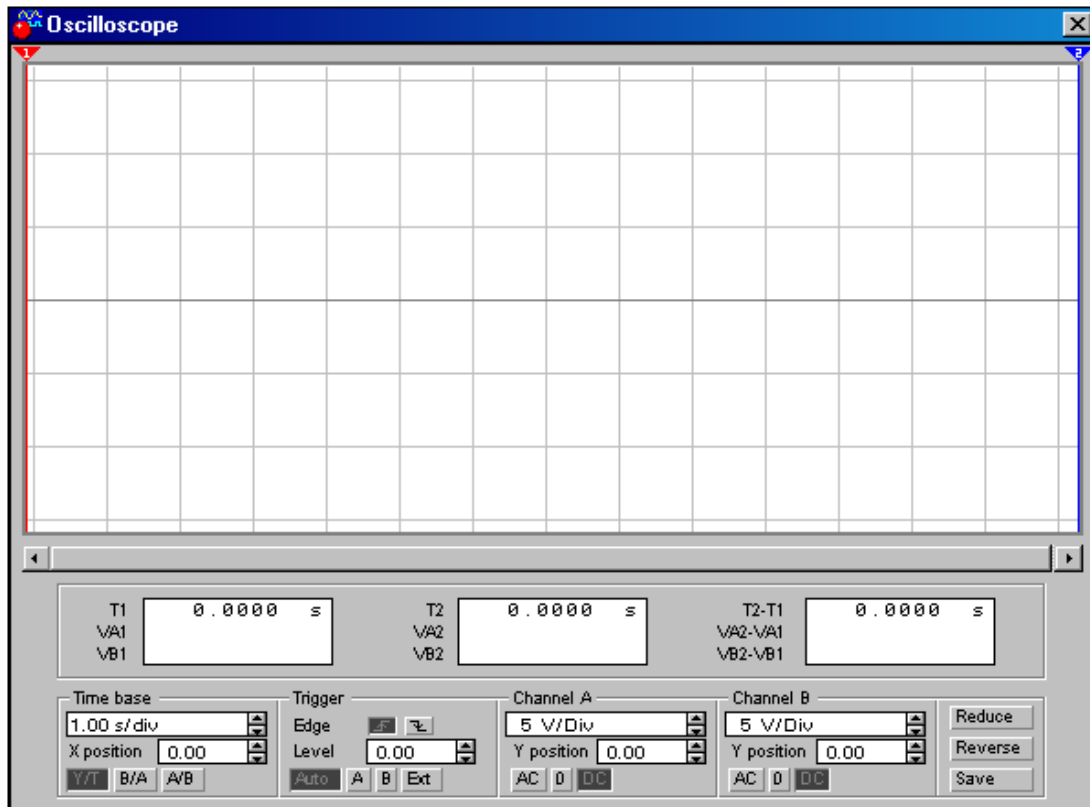
б) Обчисліть середнє значення напруги U_d за формулою (5.1).

в) Обчисліть коефіцієнт пульсацій вихідної напруги за формулою (5.2).

Результати експериментів

Експеримент 1. Визначення коефіцієнта пульсацій однонапівперіодного випрямляча.

а) Зарисуйте вихідний і вхідний сигнали на екрані осцилографа.



Максимальна вхідна напруга V _____

Максимальна вихідна напруга V _____

Різниця між максимумом і мінімумом вихідної напруги ΔU_2 V _____

б) Середнє значення вихідної напруги U_d P _____

в) Середнє значення вихідної напруги U_d V _____
за показами мультиметра

г) Коефіцієнт пульсацій вихідного сигналу q P _____

Експеримент 2. Визначення коефіцієнта пульсацій однопериодного випрямляча при зміні ємності фільтру.

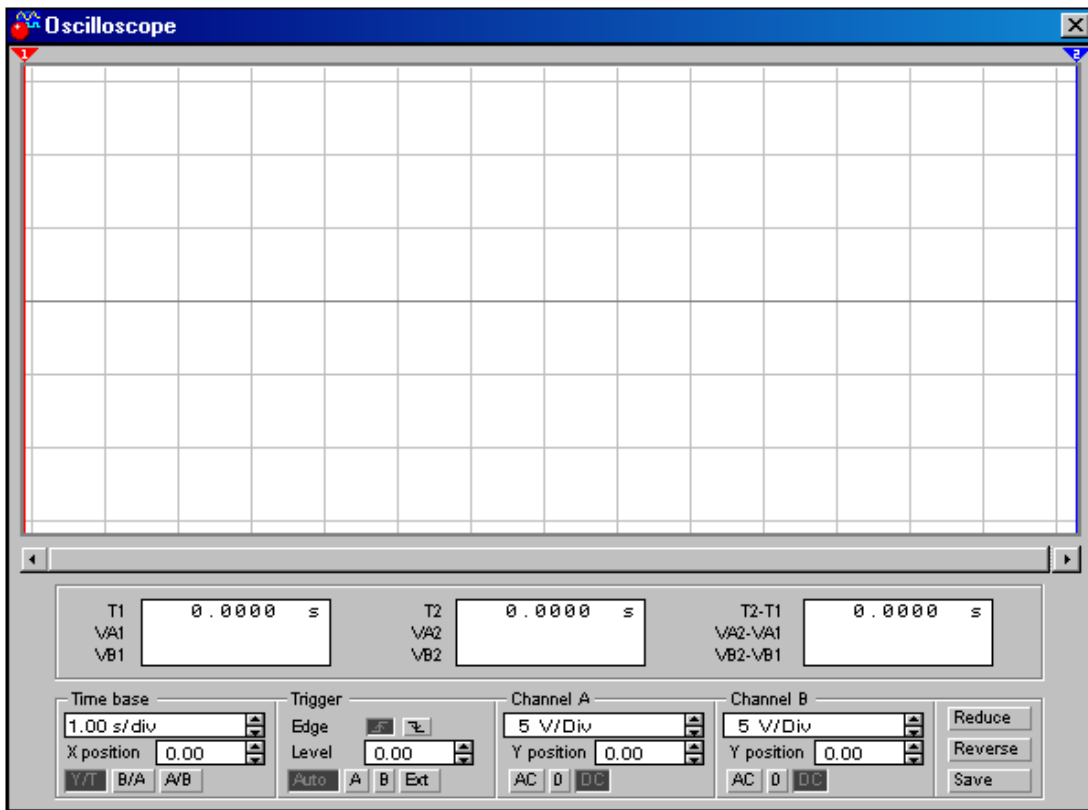
а) Зарисуйте вихідний і вхідний сигнали на екрані осцилографа.

Максимальна вхідна напруга V _____

Максимальна вихідна напруга V _____

Різниця між максимумом і мінімумом вихідної напруги ΔU_2

B_____



б) Середнє значення вихідної напруги U_d P_____

в) Середнє значення вихідної напруги U_d B_____
за показами мультиметра

г) Коефіцієнт пульсацій вихідного сигналу q P_____

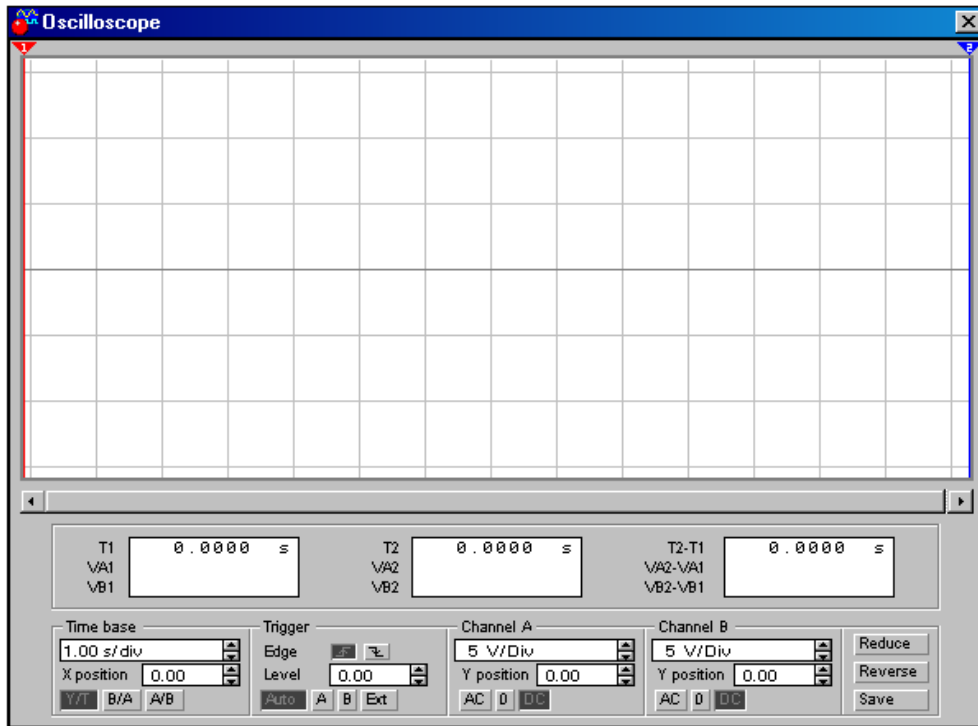
Експеримент 3. Визначення коефіцієнта пульсацій однопівперіодного випрямляча при зміні струму навантаження.

а) Зарисуйте вихідний і вхідний сигнали на екрані осцилографа.

Максимальна вхідна напруга B_____

Максимальна вихідна напруга B_____

Різниця між максимумом і мінімумом вихідної напруги ΔU_2 B_____



б) Середнє значення вихідної напруги U_d P _____

в) Середнє значення вихідної напруги U_d B _____
за показами мультиметра

г) Коефіцієнт пульсацій вихідного сигналу q P _____

Експеримент 4. Визначення коефіцієнта пульсацій двохнапівперіодного випрямляча за осцилограмою вихідної напруги.

а) Зарисуйте вихідний і вхідний сигнали на екрані осцилографа.

Максимальна вхідна напруга B _____

Максимальна вихідна напруга B _____

Різниця між максимумом і мінімумом вихідної напруги ΔU_2 B _____

б) Середнє значення вихідної напруги U_d P _____

в) Середнє значення вихідної напруги U_d B _____
за показами мультиметра

г) Коефіцієнт пульсацій вихідного сигналу q P _____

Контрольні запитання

1. Виведіть формулу для розрахунку середнього значення вихідної напруги випрямляча з ємнісним фільтром на виході.
2. В якому діапазоні напруг може змінюватися середнє значення вихідної напруги випрямляча з ємнісним фільтром на виході?
3. Які чинники впливають на величину коефіцієнта пульсацій випрямляча з ємнісним фільтром на виході?
4. Порівняйте середні значення вихідної напруги для схем однонапівперіодного і двохнапівперіодного випрямлячів з ємнісним фільтром на виході при однакових навантаженнях.
5. Порівняйте коефіцієнт пульсацій в однонапівперіодному і двохнапівперіодному випрямлячах з ємнісним фільтром на виході.
6. Чи відрізнятимуться середні значення вихідної напруги однонапівперіодній і двохнапівперіодній схем випрямлення з ємнісним фільтром, якщо опір навантаження рівний нескінченності?
7. Чи впливатиме частота вхідної напруги випрямляча на середнє значення вихідної напруги і на коефіцієнт пульсацій при фіксованих значеннях ємності фільтру і опору навантаження?

Лабораторна робота №6

Діодні обмежувачі

Мета роботи

1. Дослідження роботи послідовного обмежувача.
2. Дослідження роботи послідовного обмежувача із зміщенням.
3. Дослідження роботи шунтуючого обмежувача.
4. Дослідження роботи шунтуючого обмежувача із зміщенням.
5. Дослідження роботи шунтуючого обмежувача на стабілітроні.
6. Дослідження роботи симетричного шунтуючого обмежувача на стабілітронах.

Прилади і елементи

Генератор сигналів, осцилограф, джерело постійної ЕРС, діод 1N4001, стабілітрони 1N4773, резистори.

Короткі відомості з теорії

Основна функція додатних діодних обмежувачів полягає в тому, щоб повторювати вхідну напругу, якщо вона не перевищує заданий поріг, а при перевищенні – підтримувати вихідну напругу на пороговому рівні. Від’ємні діодні обмежувачі працюють аналогічно: напруга на виході повторює вхідну, якщо вона вища за пороговий рівень. Різні схеми обмежувачів були показані на рис. 6.1-6.6.

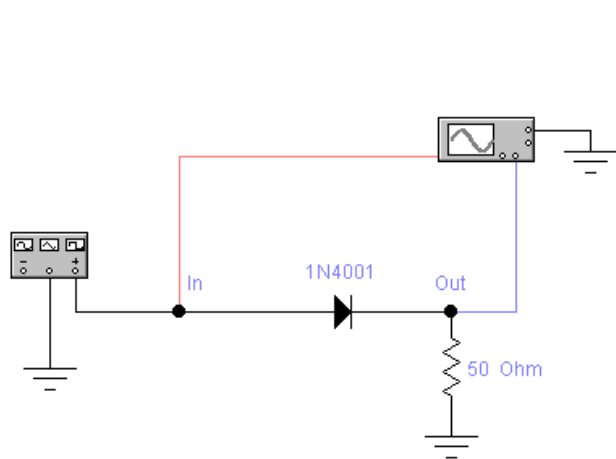


Рис. 6.1. Послідовний обмежувач

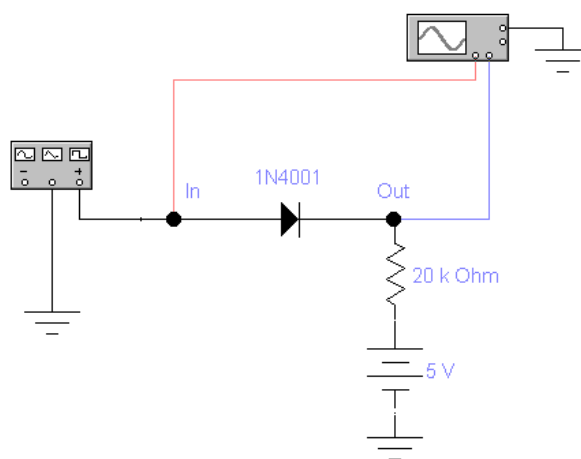


Рис. 6.2. Послідовний обмежувач із зміщенням

Схема для проведення вимірювань послідовного обмежувача, представлена на рис. 6.7. Дослідження обмежувачів решти типів проводяться в аналогічних схемах.

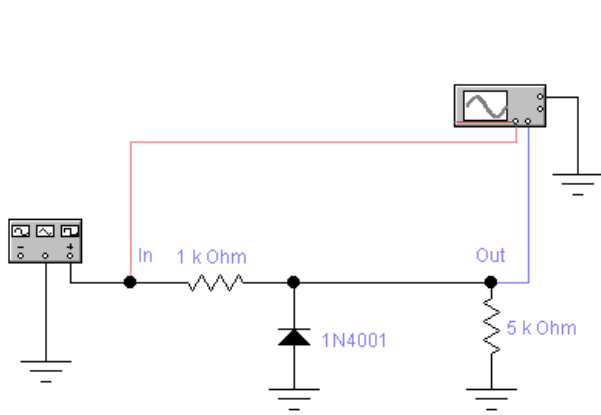


Рис. 6.3. Шунтуючий обмежувач

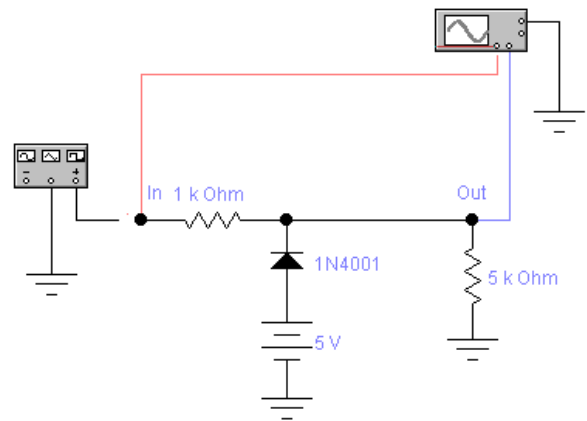


Рис. 6.4. Шунтуючий обмежувач із зміщенням

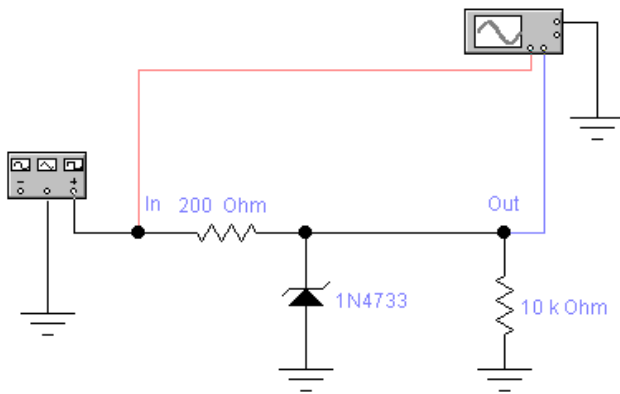


Рис. 6.5. Шунтуючий обмежувач на стабілітроні

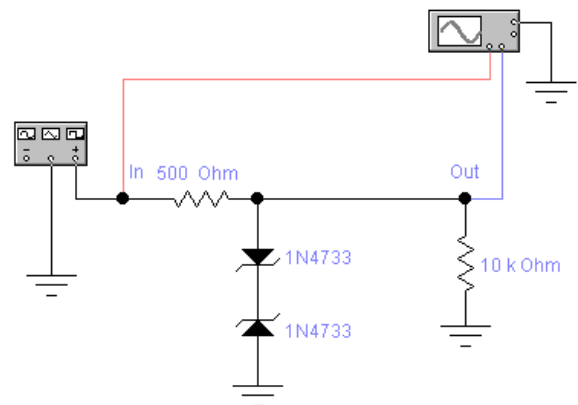


Рис. 6.6. Симетричний шунтуючий обмежувач на стабілітронах

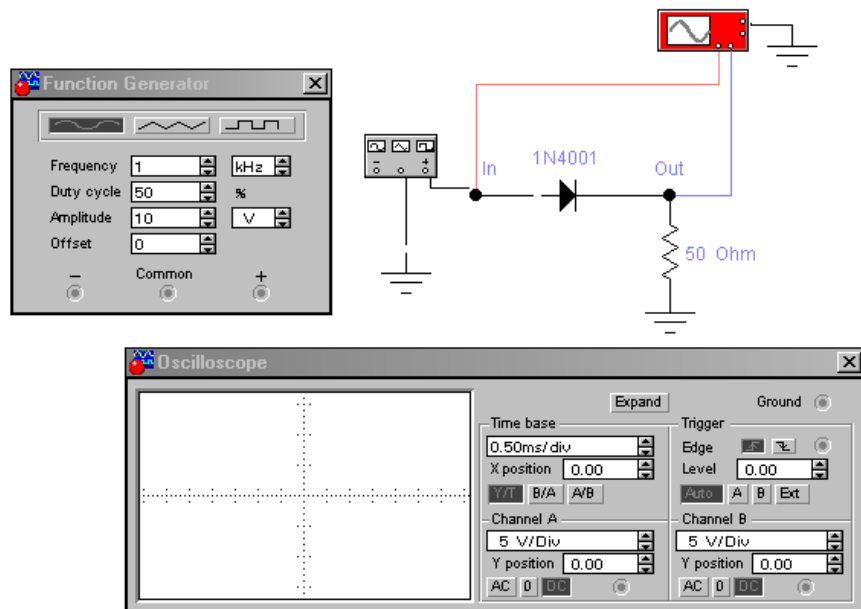


Рис. 6.7. Схема для дослідження обмежувачів

Порядок проведення експериментів

Експеримент 1. Вимірювання рівня обмеження послідовного обмежувача.

Отримайте завдання у викладача. Складіть схему, зображену на рис. 6.1. Включіть схему. Зарисуйте в розділі “Результати експериментів” осцилограми вхідної і вихідної напруги. Запишіть максимум вхідної напруги, рівень обмеження напруги.

Експеримент 2. Вимірювання рівня обмеження напруги в послідовному обмежувачі із зміщенням.

а) Вимірювання рівня напруги при додатному зміщенні. Складіть схему, подану на рис. 6.2. Включіть схему. Зарисуйте в розділі “Результати експериментів” осцилограми вхідної і вихідної напруги. Запишіть мінімуми вхідної і вихідної напруги і рівень обмеження напруги.

б) Вимірювання рівня напруги при від’ємному зміщенні. Поміняйте полярність включення джерела живлення 5 В. Включіть схему. Зарисуйте в розділі “Результати експериментів” осцилограми вхідної і вихідної напруги. Запишіть мінімуми вхідної і вихідної напруги та рівень обмеження напруги.

Експеримент 3. Вимірювання рівня обмеження напруги в шунтуючому обмежувачі.

Складіть схему, подану на рис. 6.3. Включіть схему. Зарисуйте в розділі “Результати експериментів” осцилограми вхідної і вихідної напруг. Запишіть максимум вхідної напруги, мінімум вихідної та рівень обмеження напруги.

Експеримент 4. Вимірювання рівня обмеження напруги в шунтуючому обмежувачі із зміщенням.

а) Вимірювання рівня напруги при додатному зміщенні. Складіть схему, подану на рис. 6.4. Включіть схему. Зарисуйте в розділі “Результати експериментів” осцилограми вхідної і вихідної напруги. Запишіть мінімуми вхідної і вихідної напруги та рівень обмеження напруги.

б) Вимірювання рівня напруги при від’ємному зміщенні. Поміняйте полярність включення джерела живлення 5 В. Включите схему. Зарисуйте в розділі “Результати експериментів” осцилограми вхідної і вихідної напруги. Запишіть мінімуми вхідної і вихідної напруги та рівень обмеження напруги.

Експеримент 5. Вимірювання рівня обмеження напруги в шунтуючому обмежувачі на стабілітроні.

Складіть схему, подану на рис. 6.5. Включіть схему. Зарисуйте в розділі “Результати експериментів” осцилограми вхідної і вихідної напруги. Запишіть максимум вхідної напруги, додатний і від’ємний рівні обмеження напруги.

Експеримент 6. Вимірювання рівня обмеження напруги в симетричному шунтуючому обмежувачі на стабілітронах.

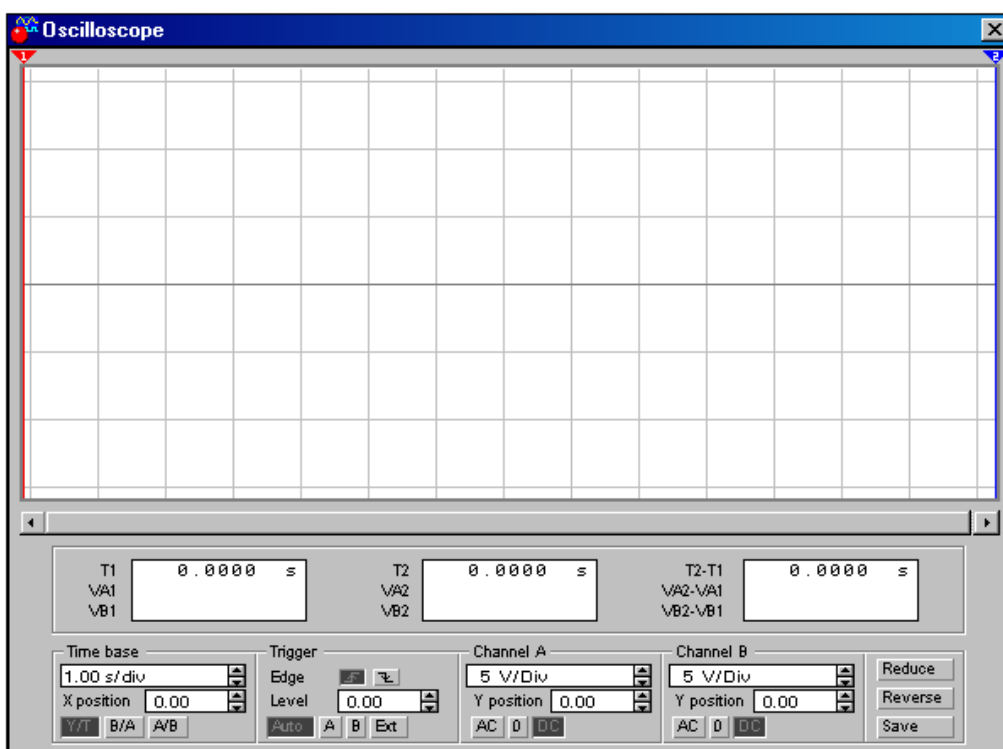
Складіть схему, подану на рис. 6.6. Включіть схему. Зарисуйте в розділі “Результати експериментів” осцилограми вхідної і вихідної напруги. Запишіть максимум вхідної напруги, додатний і від’ємний рівні обмеження напруги.

Результати експериментів

Експеримент 1. Вимірювання рівня обмеження напруги в послідовному обмежувачі.

Максимум вхідної і вихідної напруги V _____

Рівень обмеження напруги V _____



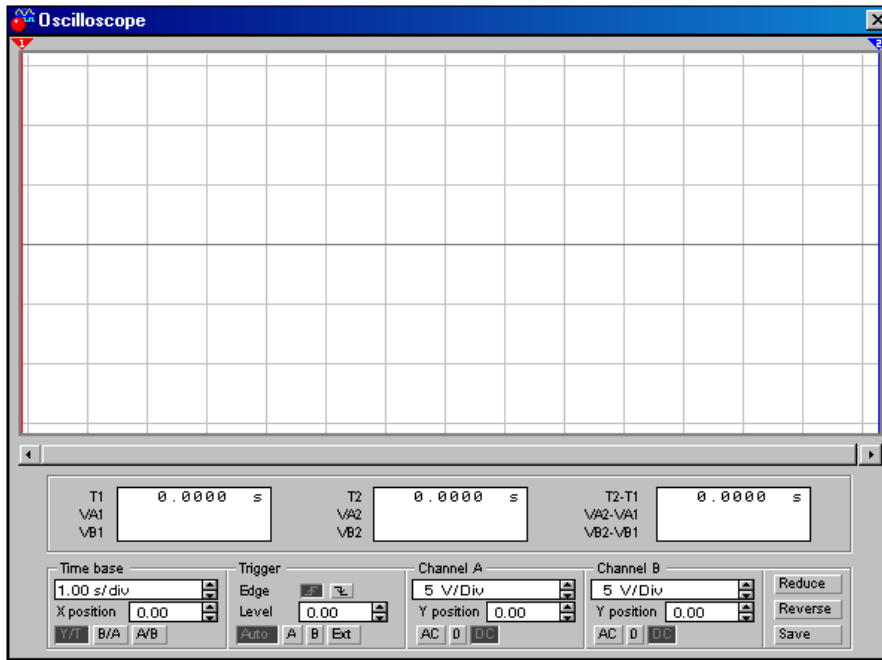
Експеримент 2. Вимірювання рівня обмеження напруги в послідовному обмежувачі із зміщенням.

а) Вимірювання рівня напруги при додатному зміщенні.

Мінімум вхідної напруги V _____

Мінімум вихідної напруги V _____

Рівень обмеження напруги V _____

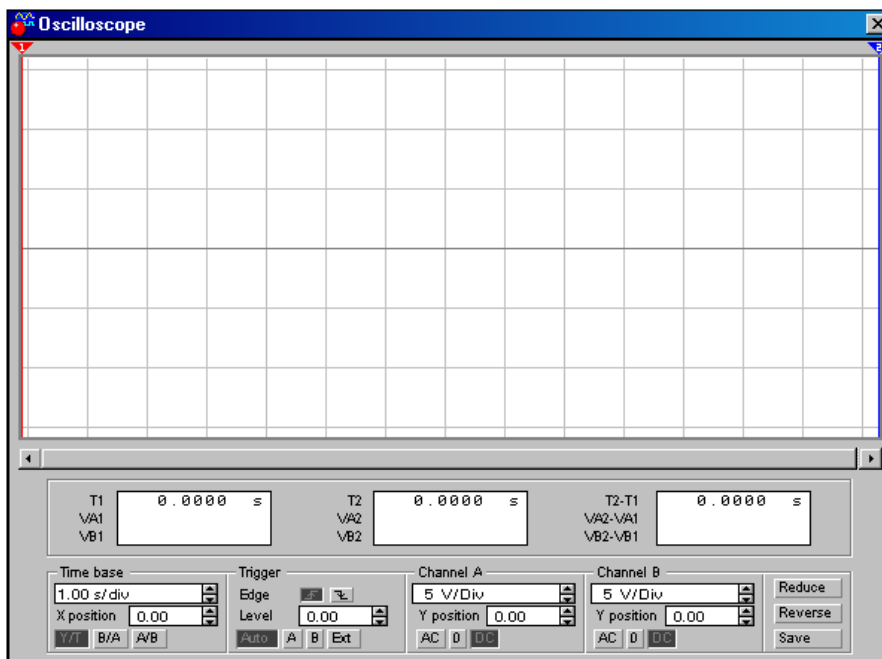


б) Вимірювання рівня напруги при від'ємному зміщенні.

Мінімум вхідної напруги B _____

Мінімум вихідної напруги B _____

Рівень обмеження напруги B _____



Експеримент 3. Вимірювання рівня обмеження напруги в шунтуючому обмежувачі.

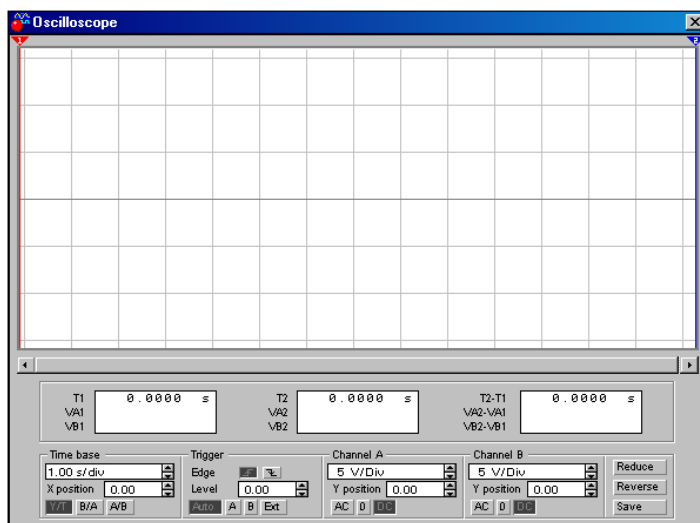
Максимум вхідної напруги B _____

Мінімум вихідної напруги B _____

Рівень обмеження напруги

V _____

Експеримент 4. Вимірювання рівня обмеження напруги в



шунтуючому обмежувачі із зміщенням.

а) Вимірювання рівня напруги при додатному зміщенні.

Мінімум вхідної напруги

V _____

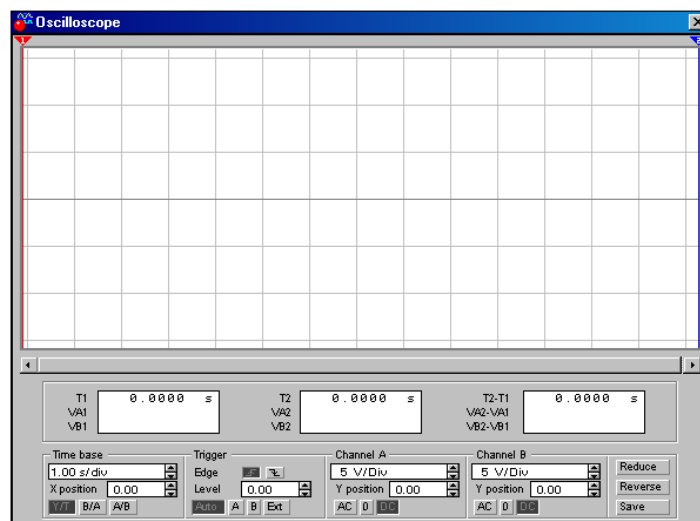
Мінімум вихідної напруги

V _____

Рівень обмеження напруги

V _____

б) Вимірювання рівня напруги при від'ємному зміщенні.



Мінімум вхідної напруги

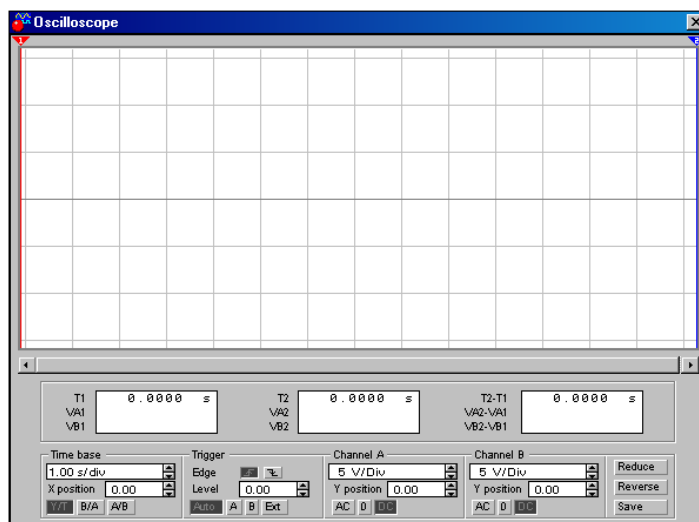
V _____

Мінімум вихідної напруги

V _____

Рівень обмеження напруги

V _____

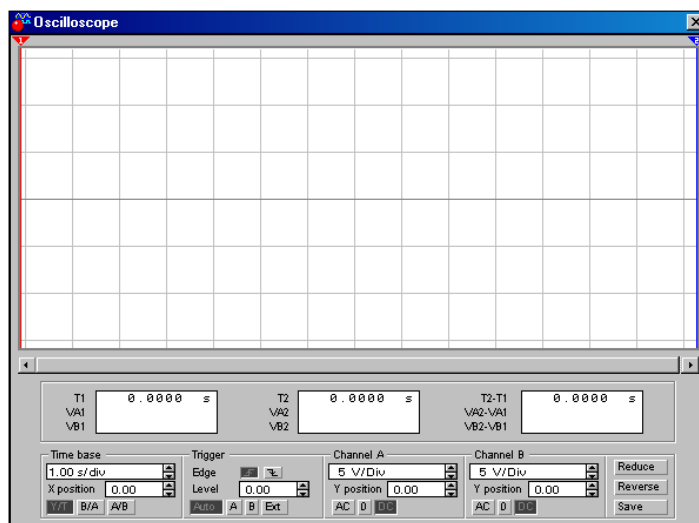


Експеримент 5. Вимірювання рівня обмеження напруги в шунтуючому обмежувачі на стабілітроні.

Максимум вхідної напруги V _____

Додатний рівень обмеження напруги V _____

Від'ємний рівень обмеження напруги V _____

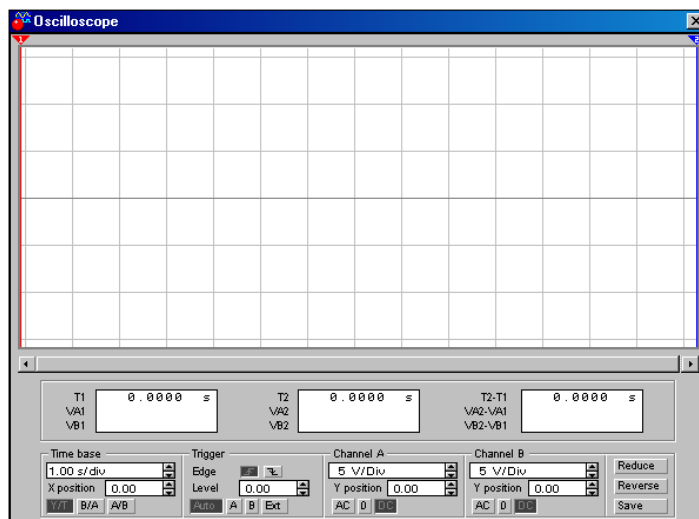


Експеримент 6. Вимірювання рівня обмеження напруги в симетричному шунтуючому обмежувачі на стабілітронах.

Максимум вхідної напруги V _____

Додатний рівень обмеження напруги V _____

Від'ємний рівень обмеження напруги V _____



Контрольні запитання

1. У чому відмінність між рівнями обмеження напруги в послідовних обмежувачах без зміщення та із зміщенням?
2. Що визначає рівень обмеження напруги в обмежувачі із зміщенням?
3. Чому в послідовному обмежувачі на рис. 6.1 відрізняються мінімуми вхідної і вихідної напруги?
4. У чому відмінність між вихідними напругами в послідовному і шунтуючому обмежувачах на рис. 6.1 і 6.3?
5. Чим визначається рівень обмеження напруги в шунтуючому обмежувачі із зміщенням?
6. Чим визначаються додатний і від'ємний рівні обмеження напруги в шунтуючому обмежувачі на стабілітроні?
7. У чому відмінність між шунтуючим обмежувачем на стабілітроні і симетричним шунтуючим обмежувачем на стабілітронах?

Лабораторна робота №7

Діодні формувачі

Мета роботи

1. Дослідження роботи додатного формувача.
2. Дослідження роботи від'ємного формувача.
3. Вимірювання середнього значення сигналу (постійної складової).
4. Дослідження впливу амплітуди вхідної напруги на вихідну напругу формувача.
5. Дослідження впливу напруги на діоді на вихідну напругу формувача.

Прилади і елементи

Генератор сигналів, осцилограф, мультиметр, діод 1N4001, резистори, конденсатори.

Короткі відомості з теорії

В діодних формувачах вихідна напруга є сумою вхідної напруги і деякої постійної складової. Додатний діодний формувач додає додатну складову, від'ємний – складову іншого знака. Додатний і від'ємний формувачі показані на рис. 7.1 і рис. 7.2 відповідно.

У формувачі рис. 7.1 на першій від'ємній півхвилі вхідної напруги через діод проходить струм. Конденсатор зарядиться при цьому до напруги $U_{BX \max}$ - 0,7 В, яка менше амплітуди вхідної напруги на величину прямого спаду напруги на діоді. На додатній півхвилі вхідної напруги діод закритий. За час, рівний періоду, конденсатор розряджається дуже мало і знову підзаряджається на від'ємній півхвилі. В результаті на конденсаторі з'явиться постійна складова. Вона разом із змінною складовою і складе вихідну напругу. Для такої роботи формувача необхідно, щоб постійна часу RC -кола значно перевищувала період вхідного сигналу.

Порядок проведення експериментів

Експеримент 1. Вимірювання постійної складової вихідної напруги додатного формувача.

а) Отримайте завдання у викладача. Складіть схему, подану на рис. 7.2. Включіть схему. Зарисуйте в розділі “Результати експериментів” осцилограми вхідної і вихідної напруги. Виміряйте амплітуди вхідної і вихідної напруги.

б) За показами осцилографа виміряйте середнє значення (постійну складову) вихідної напруги. Запишіть покази мультиметра.

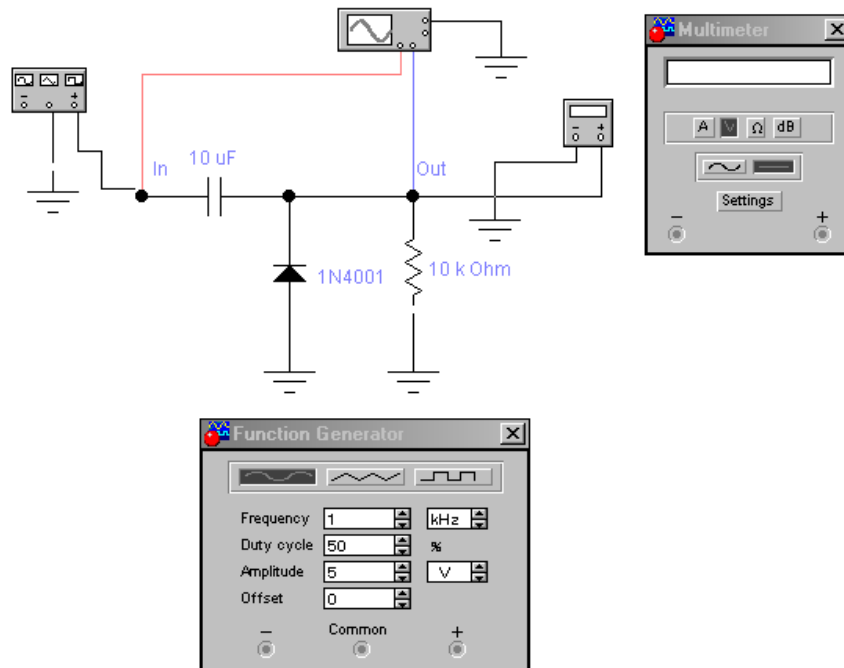


Рис. 7.1. Додатний формувач

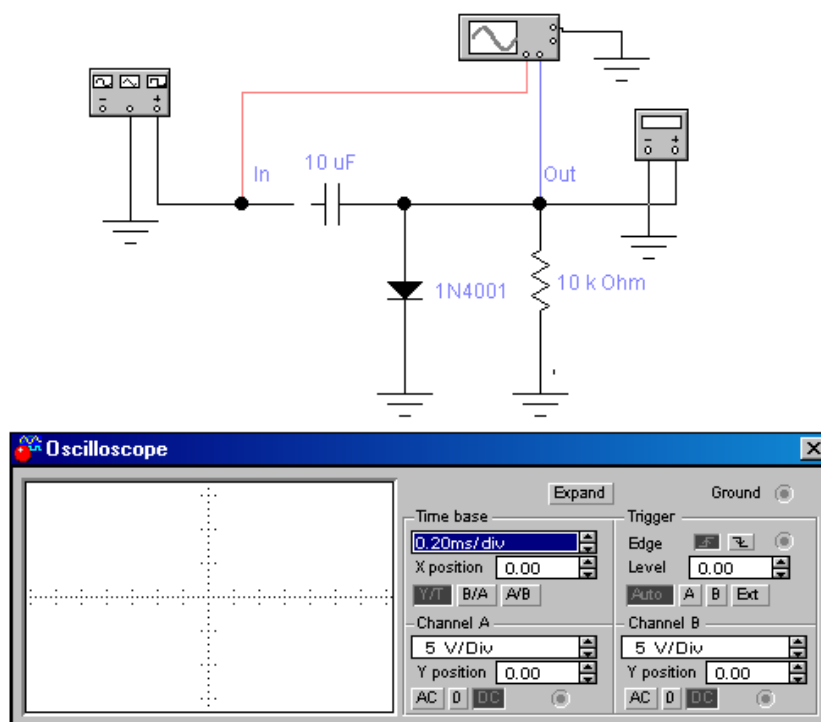


Рис. 7.2. Від'ємний формувач

Експеримент 2. Вимірювання постійної складової вихідної напруги додатного формувача при збільшенні вхідної напруги.

а) Встановіть амплітуду генератора в схемі на рис. 7.1 рівну 8 В. Включіть схему. Зарисуйте в розділі “Результати експериментів” осцилограми вхідної і вихідної напруг. Виміряйте максимуми вхідної і вихідної напруги.

б) За показами осцилографа виміряйте середнє значення (постійну складову) вихідної напруги. Запишіть покази мультиметра.

Експеримент 3. Вимірювання постійної складової вихідної напруги додатного формувача при зменшенні вхідної напруги.

а) Встановіть амплітуду генератора в схемі на рис. 7.1 рівну 2 В. Зарисуйте в розділі “Результати експериментів” осцилограми вхідної і вихідної напруг. Виміряйте максимуми вхідної і вихідної напруги.

б) За показами осцилографа виміряйте середнє значення (постійну складову) вихідного сигналу. Запишіть покази мультиметра.

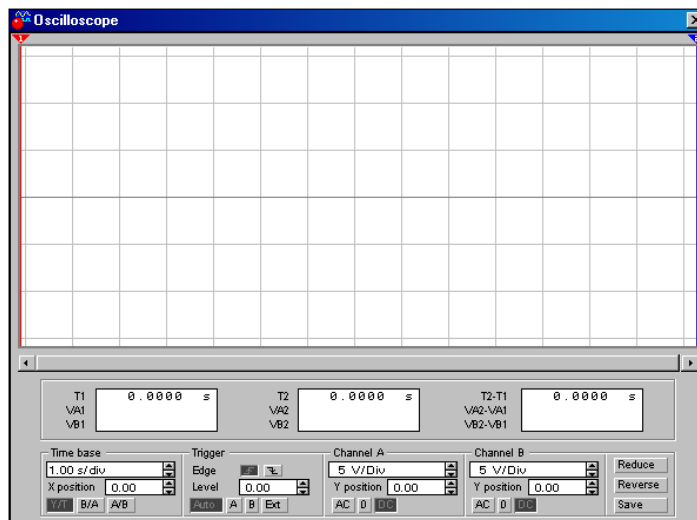
Експеримент 4. Вимірювання постійної складової вихідної напруги від’ємного формувача.

а) Складіть схему, подану на рис. 7.2. Зарисуйте в розділі “Результати експериментів” осцилограми вхідної і вихідної напруги. Виміряйте мінімуми вхідної і вихідної напруги.

б) За показами осцилографа виміряйте середнє значення (постійну складову) вихідного сигналу. Запишіть покази мультиметра.

Результати експериментів

Експеримент 1. Вимірювання постійної складової вихідної напруги додатного формувача.



Максимум вхідної напруги V _____

Максимум вихідної напруги V _____

Середнє значення напруги, обчислене P _____

по осцилограмі

Постійна складова напруги за показами V _____

Мультиметра

Експеримент 2. Вимірювання постійної складової для додатного формувача напруги при збільшенні вхідного сигналу.

Максимум вхідної напруги V _____

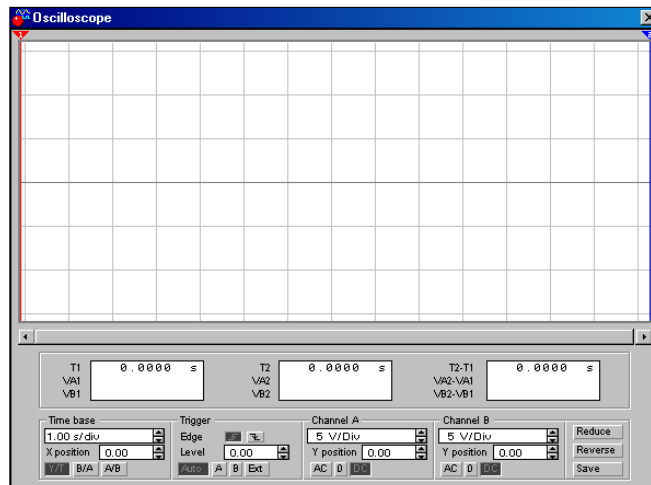
Максимум вихідної напруги V _____

Середнє значення напруги, обчислене P _____

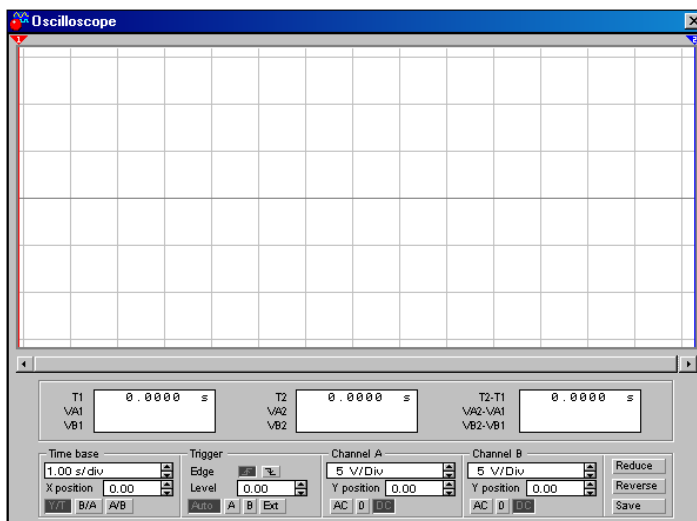
по осцилограмі

Постійна складова напруги за показами V _____
мультиметра

Покажіть максимуми вхідної і вихідної напруги на осцилограмі.



Експеримент 3. Вимірювання постійної складової для додатного формувача напруги при зменшенні вхідного сигналу.



Покажіть максимуми вхідної і вихідної напруги на осцилограмі

Максимум вхідної напруги V _____

Максимум вихідної напруги V _____

Середнє значення напруги, обчислене P _____

по осцилограмі

Постійна складова напруги за показами V _____

Мультиметра

Експеримент 4. Вимірювання постійної складової для від'ємного формувача напруги.

Максимум вхідної напруги V _____

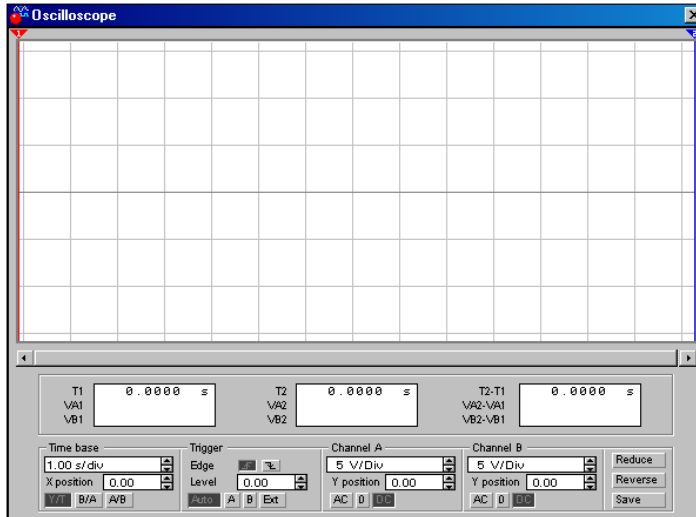
Максимум вихідної напруги V _____

Середнє значення напруги, обчислене P _____

по осцилограмі

Постійна складова напруги за показами V _____

мультиметра



Покажіть максимуми вхідної і вихідної напруги на осцилограмі

Контрольні запитання

1. Чим відрізняються осцилограми вхідної і вихідної напруги в додатному формуванні?
2. Яке середнє значення (постійна складова) вихідної напруги додатного формування? Чим визначається ця величина?
3. Чи однакові середнє значення вихідної напруги для додатного формування, виміряне по осцилограмі і отримане за показами мультиметра?
4. Як зміниться середнє значення напруги на виході додатного формування при збільшенні амплітуди вхідної напруги?
5. Як зміниться середнє значення напруги додатного формування при зменшенні амплітуди вхідної напруги до дуже низького значення? Оцініть вплив прямого спаду напруги на діоді.
6. Порівняйте вплив прямого спаду напруги на діоді для додатного формування при низькій і високій напрузі на вході. В якому випадку вплив прямого спаду напруги на діоді більший?
7. Порівняйте вихідні напруги від'ємного і додатного формування.
8. Порівняйте середнє значення вихідної напруги (постійну складову) для від'ємного і додатного формування.

Лабораторна робота №8

Дослідження біполярного транзистора

Мета роботи

1. Дослідження залежності струму колектора від струму бази і напруги база-емітер.
2. Аналіз залежності коефіцієнта підсилення по постійному струму від струму колектора.
3. Дослідження роботи біполярного транзистора в режимі відсічки.
4. Отримання вхідних і вихідних характеристик транзистора.
5. Визначення коефіцієнта передачі по змінному струму.
6. Дослідження динамічного вхідного опору транзистора.

Прилади і елементи

Біполярний транзистор 2N3904, джерела постійної ЕРС, джерела змінної ЕРС, амперметри, вольтметри, осцилограф, діод, резистори.

Короткі відомості з теорії

Досліджувана схема показана на рис. 8.1. Статичний коефіцієнт передачі струму визначається як відношення струму колектора I_K до струму бази I_B :

$$\beta_{DC} = \frac{I_K}{I_B}.$$

Коефіцієнт передачі струму β_{AC} визначається відношенням приросту ΔI_K струму колектора до приросту ΔI_B базового струму:

$$\beta_{AC} = \frac{\Delta I_K}{\Delta I_B}.$$

Диференціальний вхідний опір r_{BX} транзистора в схемі із загальним емітером (ЗЕ) визначається при фіксованому значенні напруги колектор-емітер. Він може бути знайдений як відношення приросту напруги база-емітер до викликаного ним приросту ΔI_B струму бази:

$$r_{BX} = \frac{\Delta U_{BE}}{\Delta I_B} = \frac{U_{BE2} - U_{BE1}}{I_{B2} - I_{B1}}.$$

Диференціальний вхідний опір r_{ex} транзистора в схемі з ЗЕ через параметри транзистора визначається наступним виразом:

$$r_{BX} = r_B + \beta_{AC} \cdot r_E,$$

де r_B – розподілений опір базової області напівпровідника; r_E – диференціальний опір переходу база-емітер, який визначається з виразу:

$$r_E = \frac{25}{I_E},$$

де I_E – постійний струм емітера в міліамперах.

Перший доданок r_B у виразі набагато менший другого, тому ними можна знехтувати:

$$r_{BX} \approx \beta_{AC} \cdot r_E.$$

Диференціальний опір r_E переходу база-емітер для біполярного транзистора співмірний з диференціальним входним опором r_{BX} транзистора в схемі із загальною базою, який визначається при фіксованому значенні напруги база-колектор. Він може бути знайдений як відношення приросту ΔU_{BE} до викликаного ним приросту ΔI_E струму емітера:

$$r_{BX} = \frac{\Delta U_{BE}}{\Delta I_E} = \frac{U_{BE2} - U_{BE1}}{I_{E2} - I_{E1}}.$$

Через параметри транзистора цей опір визначається виразом:

$$r_{BX} = \frac{r_B}{\beta_{AC}} + r_E.$$

Першим доданком у виразі можна нехтувати, тому можна вважати, що диференціальний опір переходу база-емітер приблизно рівний:

$$r_{BX} \approx r_E.$$

Порядок проведення експериментів

Експеримент 1. Визначення статичного коефіцієнта передачі струму транзистора.

а) Отримайте завдання у викладача. Складіть схему, зображену на рис. 8.1. Включіть схему. Запишіть результати вимірювання струму колектора, струму бази і напруги колектор-емітер в розділ “Результати експериментів”. За одержаними результатами підрахуйте статичний коефіцієнт передачі транзистора β_{DC} . Результат запишіть в розділ “Результати експериментів”.

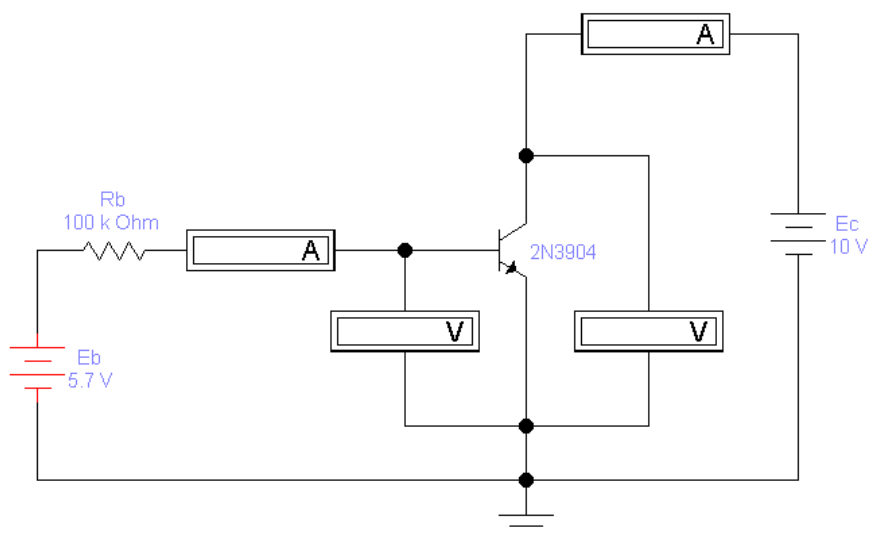


Рис. 8.1.

б) Змініть номінал джерела ЕРС E_B до 2,68 В. Включіть схему. Запишіть результати вимірювання струму колектора, струму бази і напруги колектор-емітер в розділ “Результати експериментів”. За одержаними результатами підрахуйте коефіцієнт β_{DC} . Відповідь запишіть в розділ “Результати експериментів”.

в) Змініть номінал джерела ЕРС E_K до 5 В. Включіть схему. Запишіть результати вимірювання струму колектора, струму бази і напруги колектор-емітер в розділ “Результати експериментів”. За одержаними результатами підрахуйте статичний коефіцієнт передачі транзистора β_{DC} . Результат запишіть в розділ “Результати експериментів”. Потім встановіть номінал E_K рівним 10 В.

Експеримент 2. Вимірювання зворотного струму колектора.

На схемі рис. 8.1 змініть номінал джерела ЕРС E_B до 0 В. Включіть схему. Запишіть результати вимірювання струму колектора для даних значень струму бази і напруги колектор-емітер в розділ “Результати експериментів”.

Експеримент 3. Отримання вихідної характеристики транзистора в схемі із ЗЕ.

а) В схемі (рис. 8.1) проведіть вимірювання струму колектора I_K для кожного значення E_K і E_B та заповніть табл. 8.1 в розділі “Результати експериментів”. За даними таблиці побудуйте графік залежності I_K від E_K .

б) Складіть схему, зображену на рис. 8.2. Включіть схему. Зарисуйте осцилограму вихідної характеристики, дотримуючись масштабу, в розділі “Результати експериментів”. Повторіть вимірювання для кожного значення E_B з табл. 8.1. Осцилограми вихідних характеристик для різних струмів бази зарисуйте в розділі “Результати експериментів” на одному графіку.

в) За вихідною характеристикою знайдіть коефіцієнт передачі струму β_{AC}

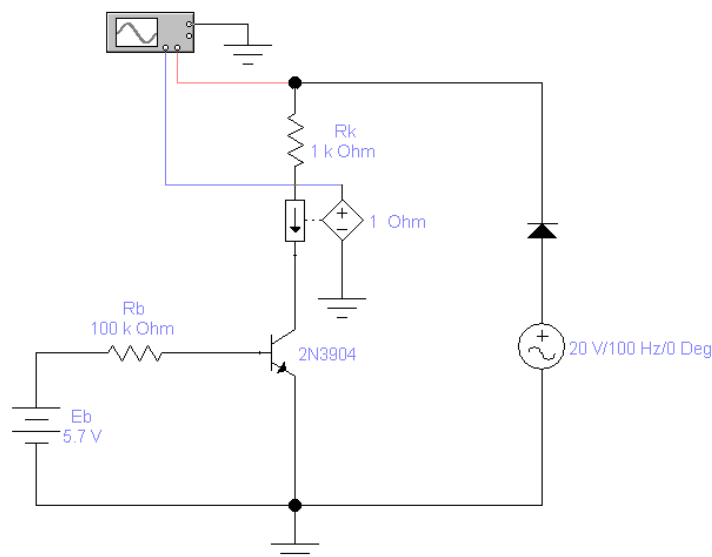


Рис. 8.2

при зміні базового струму з 10 мкА до 30 мкА, $E_K = 10$ В. Результат запишіть в розділ “Результати експериментів”.

Експеримент 4. Отримання вхідної характеристики транзистора в схемі із ЗЕ.

а) Складіть схему подану на рис. 8.1. Встановіть значення напруги джерела E_K рівним 10 В і проведіть вимірювання струму бази I_B , напруги база-емітер U_{BE} , струму емітера I_E для різних значень напруги джерела E_B відповідно до табл. 8.2 в розділі “Результати експериментів”. Зверніть увагу, що струм колектора приблизно рівний струму в колі емітера.

б) В розділі “Результати експериментів” за даними табл. 8.2 побудуйте графік залежності струму бази від напруги база-емітер.

в) Складіть схему, зображену на рис. 8.3. Включіть схему. Зарисуйте вхідну характеристику транзистора, дотримуючись масштабу, в розділі “Результати експериментів”.

г) За вхідною характеристикою знайдіть опір r_{BX} при зміні базового

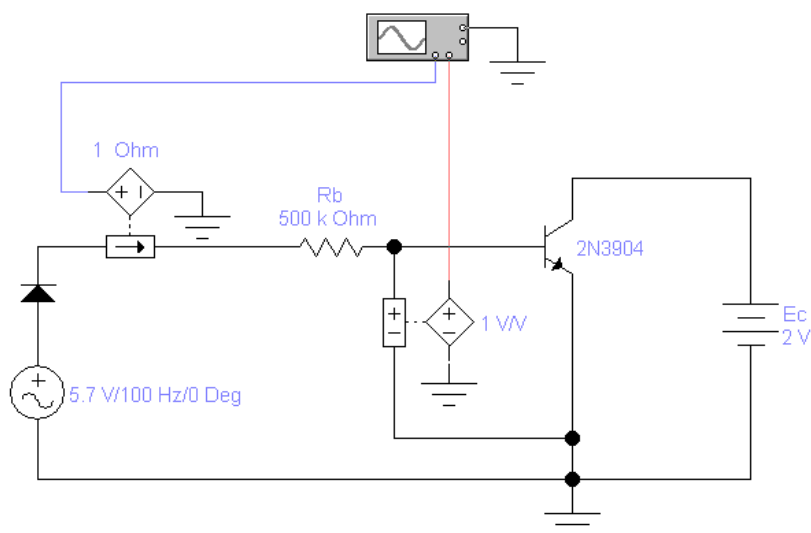


Рис. 8.3

струму з 10 мкА до 30 мкА. Результат запишіть в розділ “Результати експериментів”.

Експеримент 5. Отримання вхідної характеристики транзистора в схемі із ЗБ.

а) За даними табл. 8.2, одержаними в п. 4, побудуйте графік залежності струму емітера від напруги база-емітер.

б) Складіть схему, зображену на рис. 8.4. Включіть схему. Зарисуйте осцилограму одержаної характеристики в розділі “Результати експериментів”.

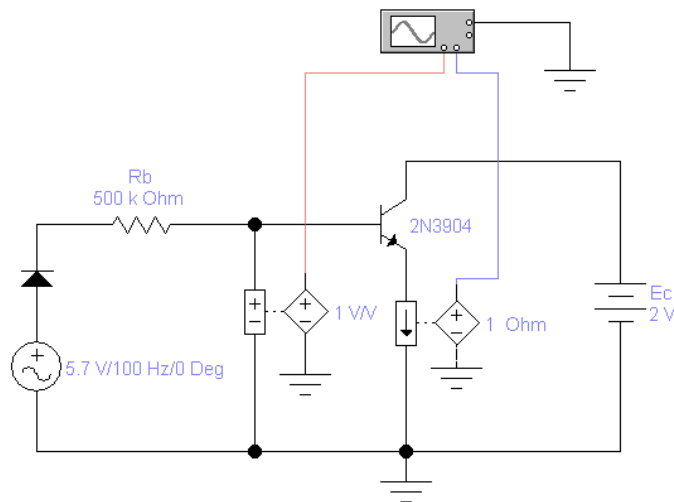


Рис. 8.4

в) За одержаною характеристикою знайдіть опір r_E при зміні базового струму з 10 мкА до 30 мкА. Результат запишіть в розділ “Результати експериментів”.

г) Знайдіть опір r_E за формулою $r_E = 25 \text{ мВ} / I_E$, використовуючи значення I_E з табл. 8.2 при $I_B = 20$ мкА. Результат запишіть в розділ “Результати експериментів”.

Результати експериментів

Експеримент 1. Визначення коефіцієнта передачі транзистора за постійним струмом.

а) Напруга джерела ЕРС E_B 5,7 В
 Струм бази транзистора I_B В _____
 Струм колектора транзистора I_K В _____
 Напруга колектор-емітер U_{KE} В _____
 Статичний коефіцієнт передачі β_{DC} P _____

б) Напруга джерела ЕРС E_B 2,68 В
 Струм бази транзистора I_B В _____
 Струм колектора транзистора I_K В _____
 Напруга колектор-емітер U_{KE} В _____
 Статичний коефіцієнт передачі β_{DC} P _____

в) Напруга джерела ЕРС E_K 5 В
 Струм бази транзистора I_B В _____
 Струм колектора транзистора I_K В _____
 Напруга колектор-емітер U_{KE} В _____
 Статичний коефіцієнт передачі β_{DC} P _____

2. Вимірювання оборотного струму колектора.

Оборотний струм колектора I_{KO} V _____

Струм бази транзистора I_B V _____

Напруга колектор-емітер U_{KE} V _____

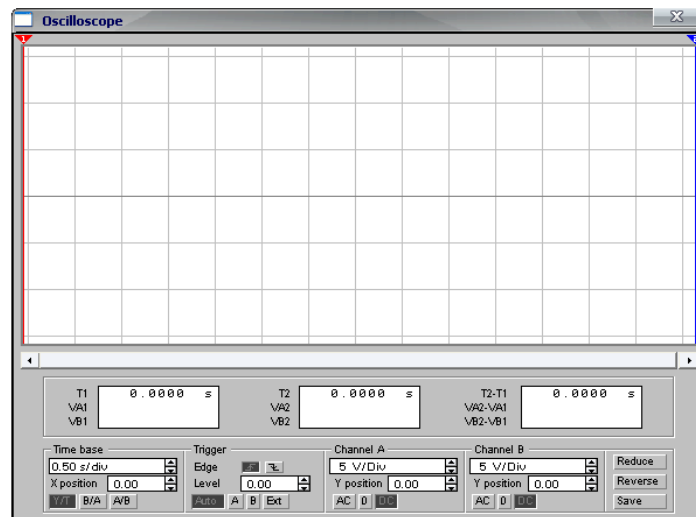
3. Отримання вихідної характеристики транзистора в схемі із ЗЕ.

Таблиця 8.1

Графік вихідної характеристики

E_B (В)	I_B (мкА)	E_K (В)					
		0,1	0,5	1	5	10	20
1,66							
2,68							
3,68							
4,68							
5,7							

Осцилограми вхідних характеристик транзистора для різних струмів бази



Коефіцієнт передачі струму β_{AC} P _____

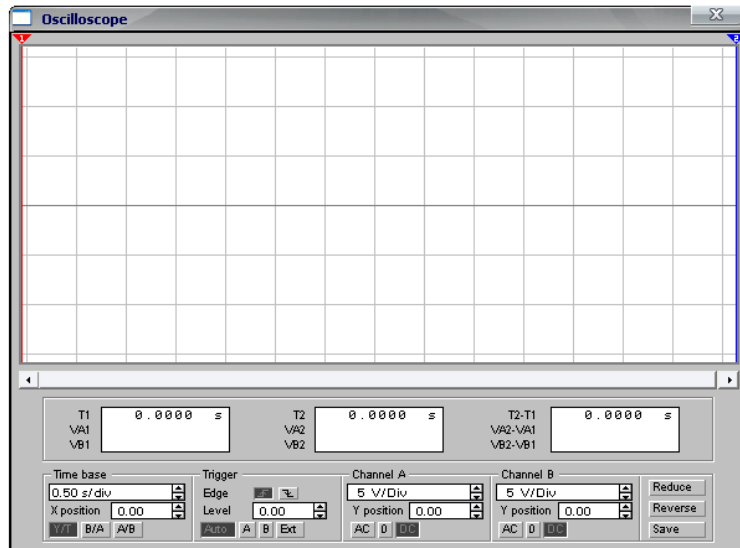
4. Отримання вхідної характеристики транзистора в схемі із ЗЕ.

Графік залежності струму бази від напруги база-емітер

Таблиця 8.2

E_B (В)	I_B (мкА)	U_{BE} (мВ)	I_K (мА)
1.66			
2.68			
3.68			
4.68			
5.7			

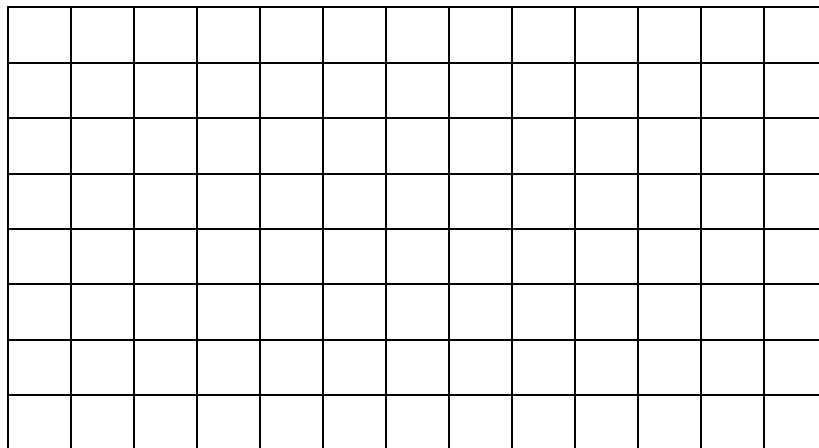
Осцилограма вхідної характеристики транзистора



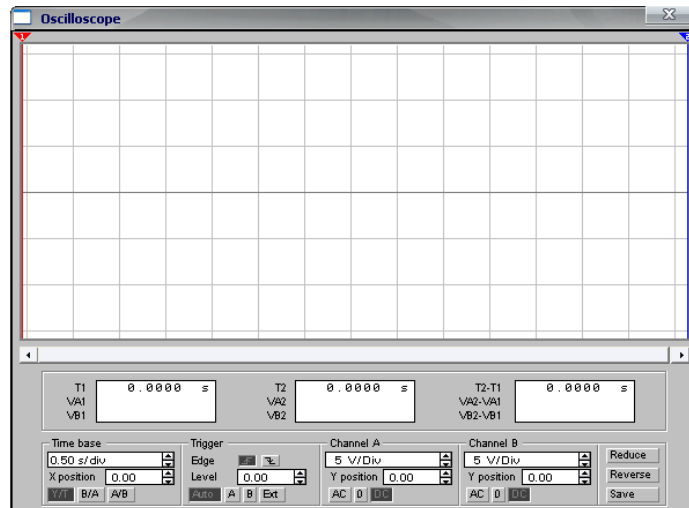
Опір r_{BX}

P _____

5. Отримання вхідної характеристики транзистора в схемі з ЗБ.
Графік залежності струму емітера від напруги база-емітер



Осцилограма вхідної характеристики транзистора в схемі із ЗБ



Опір r_E

P _____

Контрольні питання

1. Від чого залежить струм колектора транзистора?
2. Чи залежить коефіцієнт β_{DC} від струму колектора? Якщо так, то в якій мірі?

Відповідь обґрунтувати.

3. Що таке струми втрат транзистора в режимі відсічки?
4. Що можна сказати за вихідними характеристиками про залежність струму колектора від струму бази і напруги колектор-емітер?
5. Що можна сказати за вхідною характеристикою про відмінність між базо-емітерним переходом і діодом, зміщеним в прямому напрямі?
6. Чи однакове значення r_{BX} в будь-якій точці вхідної характеристики?
7. Чи однакове значення r_E при будь-якому значенні струму емітера?
8. Як відрізняється практичне значення опору r_E від обчисленого за формулою?

Лабораторна робота №9

Задання робочої точки в транзисторному каскаді

Мета роботи

1. Побудова лінії навантаження транзисторного каскаду.
2. Задання робочої точки транзисторного каскаду.
3. Дослідження параметрів робочої точки транзистора.
4. Дослідження умов для переведу транзистора в режим насичення і відсічки.
5. Визначення статичного коефіцієнта передачі транзистора за експериментальними даними.

Прилади і елементи

Біполярний транзистор 2N3904; біполярний транзистор 2N3906; джерела постійної ЕРС; резистори; амперметри; вольтметри.

Короткі відомості з теорії

1. Задання струму бази за допомогою одного резистора.

Схема транзисторного каскаду із загальним емітером представлена на рис. 9.1. Режим, в якому працює каскад, можна визначити, побудувавши його лінію навантаження на вихідній характеристиці транзистора. Даний спосіб дозволяє описати поведінку транзистора в режимах насичення, підсилення і відсічки.

Режим насичення визначається наступною умовою: струм колектора не управляється струмом бази:

$$\beta_{DC} I_B > I_K \approx I_{KH},$$

де I_{KH} – струм колектора насичення, який визначається опором R_K в колі колектора і напругою джерела живлення E_K :

$$I_{KH} \approx \frac{E_K}{R_K}.$$

Цей режим характеризується низьким спадом напруги колектор-емітер (порядку 0,1 В). Для переведу транзистора в цей режим необхідно в базу транзистора подати струм, більший ніж струм насичення бази I_{BH} :

$$I_{BH} = \frac{I_{KH}}{\beta_{DC}}.$$

Струм насичення бази задається за допомогою резистора R_{BH} з опором, рівним:

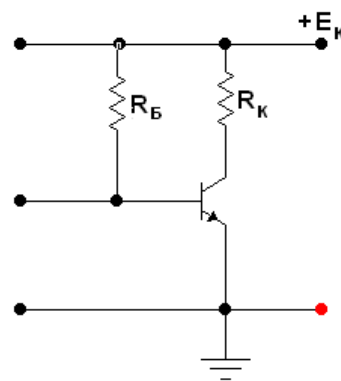


Рис. 9.1

$$R_{BH} = \frac{E_K - U_{BE0}}{I_{BH}} \approx \frac{E_K}{I_{BH}},$$

де U_{BE0} – порогова напруга переходу база-емітер. Для кремнієвих транзисторів $U_{BE0} \approx 0,7 \text{ В}$.

У режимі підсилення струм колектора менший струму I_{KH} і описується рівнянням прямої навантаження:

$$I_K = \frac{E_K - U_{KE}}{R_K}.$$

Робоча точка в статичному режимі задається струмом бази і напругою на колекторі. Вона визначається точкою перетину прямої навантаження і вихідної характеристики транзистора. Базовий струм транзистора визначається як струм через опір в колі бази R_B (рис. 9.1):

$$I_B = \frac{E_K - U_{BE0}}{R_B}.$$

Струм колектора обчислюється за формулою:

$$I_K = \beta_{DC} \cdot I_B.$$

Напруга колектор-емітер визначається з рівняння прямої навантаження:

$$U_{KE} = E_K - I_K R_K.$$

У режимі відсічки струм колектора рівний нулю і не створює на резисторі R_K спаду напруги. Отже, напруга U_{KE} максимальна і рівна напрузі джерела живлення E_K . Струм колектора з урахуванням теплових струмів визначається з наступного виразу:

$$I_K = I_{KE0} + \beta_{DC} \cdot I_B = (\beta_{DC} + 1) I_{KB0} + \beta_{DC} \cdot I_B \approx \beta_{DC} (I_{KB0} + I_B),$$

де I_{KE0} , I_{KB0} – оборотні струми переходів колектор-емітер і колектор-база відповідно. Коефіцієнт нестабільності струму колектора (S) через вплив теплових струмів в схемі визначається як:

$$S = \frac{dI_K}{dI_{KB0}} = 1 + \beta_{DC} \approx \beta_{DC}.$$

Як впливає з цього виразу, при даному способі задання струму бази коефіцієнт нестабільності залежить від статичного коефіцієнта передачі, який для транзисторів одного і того ж типу може сильно відрізнятися.

2. Задання струму бази за допомогою діляника напруги. NPN-транзистор.

Схема задання струму бази NPN транзистора за допомогою діляника напруги в каскаді із загальним емітером представлена на рис. 9.2. Аналогічно пункту 1, розглянемо режими насичення, підсилення і відсічки. Струм колектора в режимі насичення описується наступним виразом:

$$I_{KH} \approx \frac{E_K}{R_K + R_E}$$

Незалежно від опору резисторів R_1 і R_2 дільника напруги струм насичення бази визначається з виразу:

$$I_{BH} = \frac{I_{KH}}{\beta_{DC}},$$

а напруга U_B на базі рівна:

$$U_B = E_K \frac{R_E}{R_E + R_K} + U_{BE0}.$$

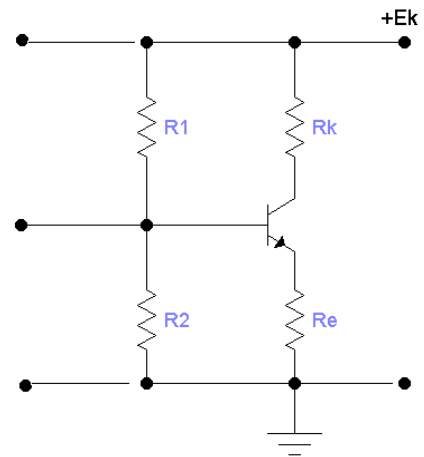


Рис. 9.2

Ця ж напруга задається дільником напруги. Знаючи E_K і U_B , можна визначити відношення опорів плечей дільника:

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{E_K - U_B}{U_B}.$$

Сумарний опір дільника звичайно вибирається так, щоб струм, що протікає через нього був приблизно в 10 разів менший струму колектора. Склавши систему рівнянь і розв'язавши її, можна знайти опори R_1 і R_2 плечей дільника, які забезпечують струм бази, необхідний для переведу транзистора в режим насичення. Аналогічним чином каскад розраховується і в підсилювальному режимі, але з урахуванням наступних виразів.

Струм колектора в підсилювальному режимі описується рівнянням прямої навантаження:

$$I_K = \frac{E_K - U_{KE} - U_E}{R_K},$$

де $U_E = I_E \cdot R_E$, I_E – струм емітера.

Струм бази визначається з виразу:

$$I_B = \frac{I_K}{\beta_{DC}}.$$

Струм колектора пов'язаний із струмом емітера наступним виразом:

$$I_K = I_E - I_B.$$

Напруга на базі транзистора рівна:

$$U_B = I_E \cdot R_E + U_{BE0}.$$

Далі розраховуються опори R_1 і R_2 дільника напруги. Сумарний опір дільника повинен забезпечувати більший в порівнянні із струмом бази струм дільника (струм дільника беруть в 10 разів менший струму колектора).

Робоча точка визначається перетином прямої навантаження і вихідної характеристики транзистора. При відомих значеннях опорів R_1 і R_2 струм бази транзистора рівний:

$$I_B = \frac{U_B - U_{BE0}}{R_{EKB}},$$

де U_B – напруга на базі транзистора. Якщо $\beta R_E \gg R_2$, то:

$$U_B = E_K \frac{R_2}{R_1 + R_2}, \quad R_{EKB} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}.$$

Струм емітера визначається за спадом напруги на опорі R_E в колі емітера і обчислюється як різниця потенціалів U_B і U_{BE0} :

$$I_E = \frac{U_B - U_{BE0}}{R_E}.$$

Значення напруги колектор-емітер U_{KE} обчислюється за законом Кірхгофа:

$$U_{KE} = E_K - I_K \cdot R_K - I_E \cdot R_E.$$

Коефіцієнт нестабільності струму колектора (S) через вплив теплових струмів в схемі за умови, що $U_E > U_{BE0}$, визначається як:

$$S = \frac{dI_K}{dI_{KB0}} = \frac{1 + \beta_{DC}}{1 + \beta_{DC} \frac{R_E}{R_E + R_B}} \approx 1 + \frac{R_B}{R_E},$$

де $R_B = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$.

Як випливає з цього виразу, при даному способі задання струму бази коефіцієнт нестабільності визначається елементами схеми і практично не залежить від характеристик транзистора, що покращує стабільність робочої точки.

PNP-транзистор.

Схема задання струму бази за допомогою діляника напруги в каскаді із загальним емітером на PNP-транзисторі представлена на рис. 9.3. Для даної схеми справедливі вирази, приведені в попередньому пункті для схеми з NPN-транзистором, з наступною поправкою: полярність напруг і напрями струмів потрібно поміняти на протилежні.

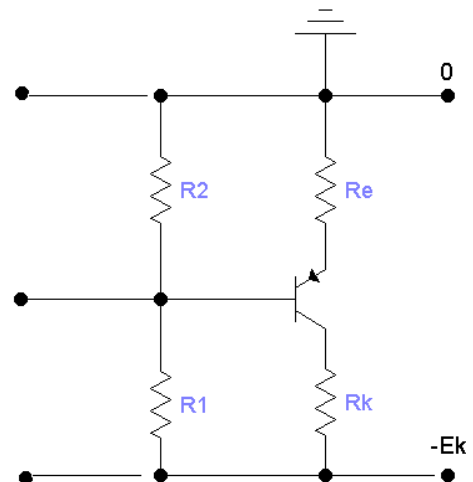


Рис. 9.3

3. Задання струму бази з допомогою додаткового джерела в колі емітера.

Схема задання струму бази за допомогою додаткового джерела в колі емітера в каскаді із загальним емітером на NPN-транзисторі представлена на рис. 9.4.

Струм колектора в режимі насичення рівний:

$$I_{KH} \approx \frac{E_K + E_E}{R_K + R_E}.$$

Струм колектора в підсилювальному режимі описується рівнянням прямої навантаження:

$$I_K = \frac{E_K + E_E - I_E \cdot R_E}{R_K}.$$

Напруга на базі транзистора U_B визначається з наступного виразу:

$$U_B = I_E \cdot R_E - E_E + U_{BE0}.$$

Ця ж напруга рівна спаду напруги на резисторі R_B :

$$U_B = -I_B \cdot R_B.$$

Струм емітера обчислюється за спадом напруги на опорі R_E :

$$I_E = \frac{U_E + E_E}{R_E} = \frac{U_B - U_{BE0} + E_E}{R_E}$$

U_B має негативне значення.

Струм колектора пов'язаний із струмом емітера наступним виразом:

$$I_K = I_E - I_B \approx I_E.$$

Значення напруги колектор-емітер обчислюється із закону Кірхгофа для напруг:

$$U_{KE} = E_K + E_E - I_K \cdot R_K - I_E \cdot R_E.$$

Коефіцієнт нестабільності струму колектора S визначається як:

$$S = \frac{dI_K}{dI_{KB0}} = \frac{1 + \beta_{DC}}{1 + \beta_{DC} \frac{R_E}{R_E + R_B}}$$

Дана схема характеризується таким же коефіцієнтом нестабільності, як і попередня.

4. Задання струму бази за допомогою резистора в ланцюзі база-колектор.

Схема задання струму бази за допомогою резистора в колі база-колектор в каскаді із загальним емітером представлена на рис. 9.5.

Струм колектора в підсилювальному режимі описується рівнянням:

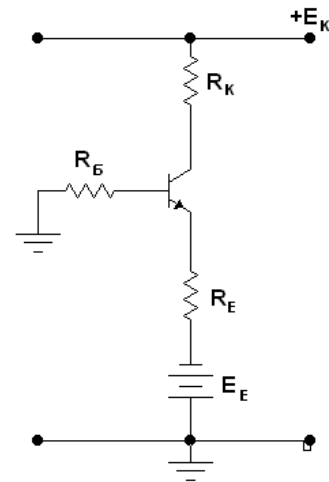


Рис. 9.4

$$I_K = \frac{E_K - U_{KE}}{R_K}.$$

Робоча точка визначається точкою перетину прямої навантаження і вихідної характеристики транзистора.

Струм бази визначається з виразу:

$$I_B = \frac{E_{KE} - U_{BE0}}{R_B}.$$

Як видно з виразу, струм бази залежить від напруги колектор-емітер, що робить схему менш чутливою до розкиду значень статичного коефіцієнта передачі встановлюваних в неї транзисторів.

Струм колектора в схемі визначається за формулою:

$$I_K = \frac{E_K - U_{BE}}{R_K + \frac{R_B}{\beta_{DC}}}.$$

Значення напруги колектор-емітер обчислюється за законом Кірхгофа для напруг:

$$U_{KE} = E_K - I_K \cdot R_K.$$

Статичний коефіцієнт передачі струму β_{DC} визначається відношенням струму колектора до струму бази:

$$\beta_{DC} = \frac{I_K}{I_B}.$$

Коефіцієнт нестабільності струму колектора (S) через вплив теплових струмів в схемі з резистором в колі база-колектор визначається як:

$$S = \frac{dI_K}{dI_{KB0}} = \frac{1 + \beta_{DC}}{1 + \beta_{DC} \frac{R_K}{R_B}} \approx \frac{R_B}{R_K}.$$

Як випливає з виразу, коефіцієнт нестабільності цієї схеми дещо вищий, ніж біля схем з опором R_E в колі емітера.

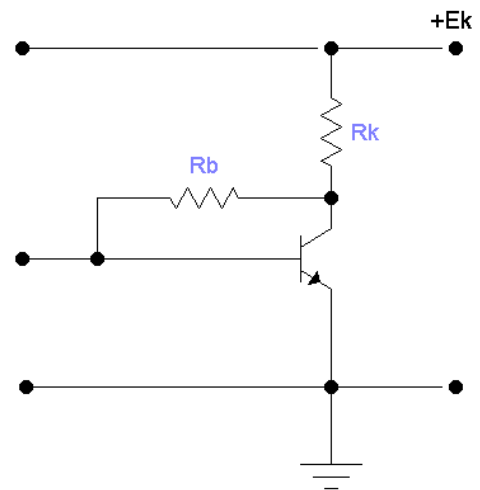


Рис. 9.5

Порядок проведення експериментів

Експеримент 1. Дослідження параметрів робочої точки при заданні струму бази за допомогою одного резистора.

а) Отримайте завдання у викладача. Складіть схему зображену на рис. 9.6. Включіть схему. Запишіть результати вимірювань для струму бази, струму колектора, напруги колектор-емітер і напруги база-емітер в розділ “Результати експериментів”.

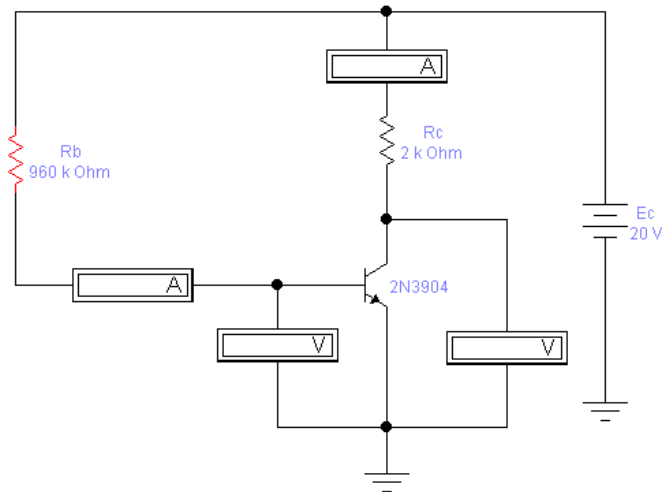


Рис. 9.6

б) Для схеми на рис. 9.6 за формулами з розділу “Короткі відомості з теорії” обчислити базовий струм, напругу колектор-емітер. Струм колектора обчисліть, використовуючи значення струму бази, одержане в п. а) і значення β_{DC} , пораховане в експерименті 1 лабораторної роботи №8. Результати запишіть в розділ “Результати експериментів”. Порівняйте їх з експериментальними даними.

в) В розділі “Результати експериментів” побудуйте пряму навантаження за постійним струмом на вихідній характеристиці транзистора 2N3904, одержаній в експерименті 3 лабораторної роботи №8. Використовуючи значення струмів і напруг, одержані в пункті а), визначте робочу точку Q на лінії навантаження і вкажіть її положення на графіку.

г) Подвійним клацанням на зображенні транзистора відкрийте діалогове вікно вибору моделі транзистора. Рядок з найменуванням транзистора 2N3904 підсвічуватиметься. Щоб редагувати параметри моделі транзистора, натисніть Edit. Змініть коефіцієнт передачі по струму βF до 100, потім натисніть Ok. Натисніть Ok ще раз, щоб повернутися до схеми. Зміна коефіцієнта β дозволяє переконатися, що заміна транзисторів приводить до зміни струму колектора. Включіть схему. Запишіть результати вимірювань для струму бази, струму колектора і напруги колектор-емітер в розділ “Результати експериментів”.

д) За новими значеннями напруги колектор-емітер і струму колектора визначте нову робочу точку на прямій навантаження, побудованій в п. в). Вкажіть її положення на графіку в розділі “Результати експериментів”.

е) Відновіть попереднє значення коефіцієнта передачі за постійним струмом βF транзистора 2N3904 (204).

ж) Підрахуйте опір R_B , необхідне для перевodu транзистора в режим насичення. Підставте в схему значення опору R_B , трохи менше підрахованого. Включіть схему. Запишіть результати вимірювань для струму бази, струму колектора і напруги колектор-емітер в розділ “Результати експериментів”.

з) Зменшіть значення R_B на більш значну величину і знову активуйте схему. Якщо транзистор знаходиться в режимі насичення, то зміна струму колектора дуже мала навіть при дуже великій зміні струму бази.

Експеримент 2. Дослідження параметрів робочої точки при завданні струму бази за допомогою дільника напруги (NPN-транзистор).

а) Складіть схему, зображену на рис. 9.7. Включіть схему. Запишіть результати вимірювань для струму бази, струму колектора, струму емітера, напруги колектор-емітер і напруги на базі в розділ “Результати експериментів”. Обчисліть коефіцієнт передачі β_{DC} . Результат запишіть в розділ “Результати експериментів”.

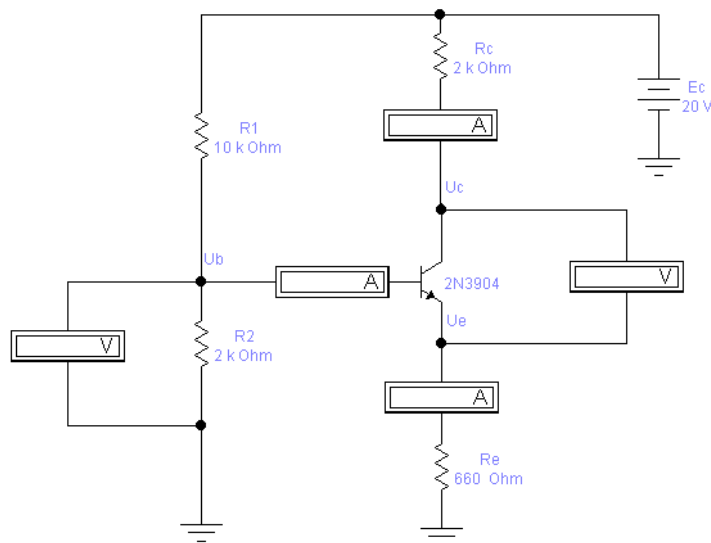


Рис. 9.7

б) Для схеми рис. 9.7 за формулами з розділу “Короткі відомості з теорії” обчисліть значення напруги в точці U_B . Обчисліть струм емітера і розрахуйте струм колектора за отриманим значенням струму емітера ($U_{BE0} \approx 0,7 V$), обчисліть значення напруги колектор-емітер по одержаних раніше струму колектора і струму емітера. Результати запишіть в розділ “Результати експериментів”.

в) У розділі “Результати експериментів” побудуйте пряму навантаження за постійним струмом на вихідній характеристиці транзистора 2N3904 з експерименту 3 лабораторної роботи №8. Використовуючи значення струмів і напруг, одержаних в пункті а), визначте робочу точку Q та відобразіть її положенні на графіку.

г) Подвійним клацанням на зображенні транзистора відкрийте діалогове вікно вибору моделі транзистора. Рядок з найменуванням транзистора 2N3904 підсвічуватиметься. Щоб редагувати параметри моделі транзистора, натисніть Edit. Змініть коефіцієнт передачі по струму (βF) до 100, потім натисніть Ok. Натисніть Ok ще раз, щоб повернутися до схеми. Зміна коефіцієнта β дозволяє переконатися, що заміна транзисторів приводить до зміни струму колектора.

Включіть схему. Запишіть результати вимірювань для струму бази, струму колектора і напруги колектор-емітер в розділ “Результати експериментів”.

д) За новими значеннями напруги база-емітер і струму колектора визначте положення робочої точки на прямій навантаження, побудованій в пункті в) і відобразіть її положенні на графіку.

е) Відновіть попереднє значення коефіцієнта передачі за постійним струмом (βF) транзистора 2N3904 (204).

ж) Проведіть зміни параметрів кола бази, необхідні для переведу транзистора в режим насичення. Запишіть результати вимірювань для струму бази, струму колектора, напруги на базі і напруги колектор-емітер в розділ “Результати експериментів”.

Експеримент 3. Задання струму бази за допомогою діляника напруги (PNP-транзистор).

а) Складіть схему, зображену на рис. 9.8. Включіть схему. Запишіть результати вимірювань для струму бази, струму колектора, струму емітера, напруги колектор-емітер і напруги на базі в розділ “Результати експериментів”. Обчисліть статичний коефіцієнт передачі β_{DC} . Результат записати в розділ “Результати експериментів”.

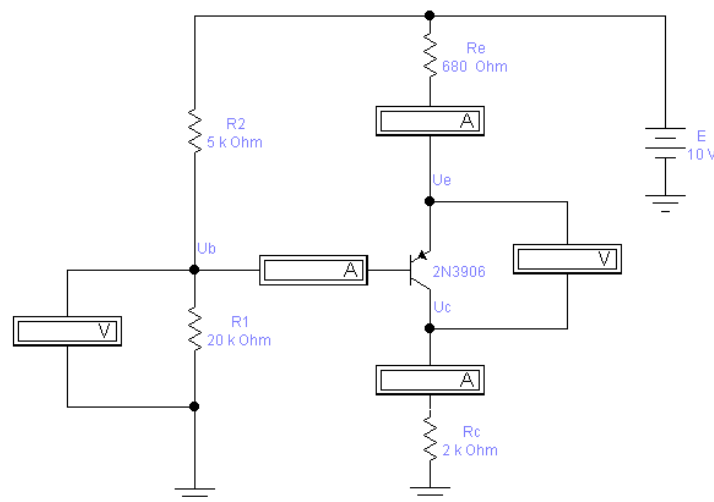


Рис. 9.8

б). Для схеми на рис. 9.8 за формулами з розділу “Короткі відомості з теорії” обчисліть значення напруги в точці U_B . Обчисліть струм емітера і розрахуйте струм колектора за отриманим значенням струму емітера ($U_{BE0} \approx 0,7 V$), обчисліть значення напруги колектор-емітер за одержаними раніше струмом колектора і струмом емітера. Результати запишіть в розділ “Результати експериментів”. Порівняйте їх з експериментальними даними.

в) Подвійним клацанням на зображенні транзистора відкрити діалогове вікно вибору моделі транзистора. Рядок з найменуванням транзистора 2N3906 підсвічуватиметься. Щоб редагувати параметри моделі транзистора, натисніть Edit. Змініть коефіцієнт передачі по струму (βF) з 180 до 100, потім натисніть Ok. Натисніть Ok ще раз, щоб повернутися до схеми. Зміна коефіцієнта β

дозволяє переконатися, що заміна транзисторів приводить до зміни струму колектора. Включіть схему. Запишіть результати вимірювань для струму бази, струму колектора і напруги колектор-емітер в розділ “Результати експериментів”.

г) Відновіть попереднє значення коефіцієнта передачі за постійним струму (βF) транзистора 2N3906 (180).

Експеримент 4. Дослідження параметрів робочої точки при заданні струму бази за допомогою додаткового джерела в колі емітера.

а) Складіть схему, зображену на рис. 9.9. Включіть схему. Запишіть результати вимірювань для струму бази, струму колектора, струму емітера, напруги колектор-емітер і напруги на базі в розділ “Результати експериментів”. Обчисліть статичний коефіцієнт передачі β_{DC} . Результат запишіть в розділ “Результати експериментів”.

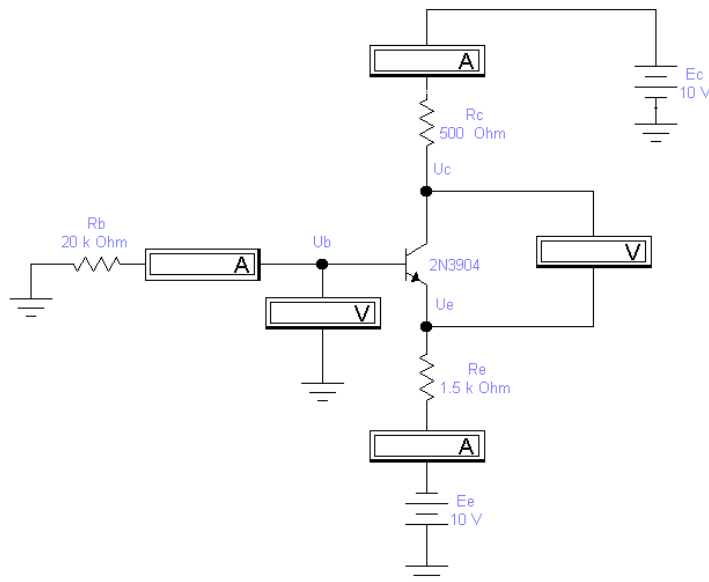


Рис. 9.9

б) Для схеми на рис. 9.9 за формулами з розділу “Короткі відомості з теорії” обчисліть напругу в точці U_B за виміряним раніше значенням струму бази, розрахуйте струм емітера і обчисліть струм колектора за величиною струму емітера ($U_{BE0} \approx 0,7 V$). Обчисліть значення напруги колектор-емітер за отриманими значеннями струму емітера і струму колектора. Результати запишіть в розділ “Результати експериментів”.

в) У розділі “Результати експериментів” для схеми на рис. 9.9 побудуйте пряму навантаження на вихідній характеристиці транзистора 2N3904 з експерименту 3 лабораторної роботи №8. За результатами, одержаними в попередньому пункті, визначте робочу точку Q і позначте її положенні на графіку.

г) Подвійним клацанням на зображенні транзистора відкрийте діалогове вікно вибору моделі транзистора. Рядок з найменуванням транзистора 2N3904 підсвічуватиметься. Щоб редагувати параметри моделі транзистора, натисніть

Edit. Змініть коефіцієнт передачі за струмом (βF) з 204 до 100, потім натисніть Ok. Натисніть Ok ще раз, щоб повернутися до схеми. Зміна коефіцієнта β дозволяє переконатися, що заміна транзисторів приводить до зміни струму колектора. Включіть схему. Запишіть результати вимірювань для струму бази, струму колектора і напруги колектор-емітер в розділ “Результати експериментів”.

д) За новими значеннями напруги база-емітер і струму колектора визначте положення робочої точки на прямій навантаження, побудованій в пункті в), і зазначте її положенні на графіку.

е) Відновіть попереднє значення коефіцієнта передачі за постійним струмом (βF) транзистора 2N3904 (204).

Експеримент 5. Дослідження параметрів робочої точки при заданні струму бази за допомогою резистора в колі база-колектор.

а). Складіть схему, зображену на рис. 9.10. Включіть схему. Запишіть результати вимірювань для струму бази, струму колектора, струму емітера і напруги колектор-емітер в розділ “Результати експериментів”. Обчисліть статичний коефіцієнт передачі β_{DC} . Результат запишіть в розділ “Результати експериментів”.

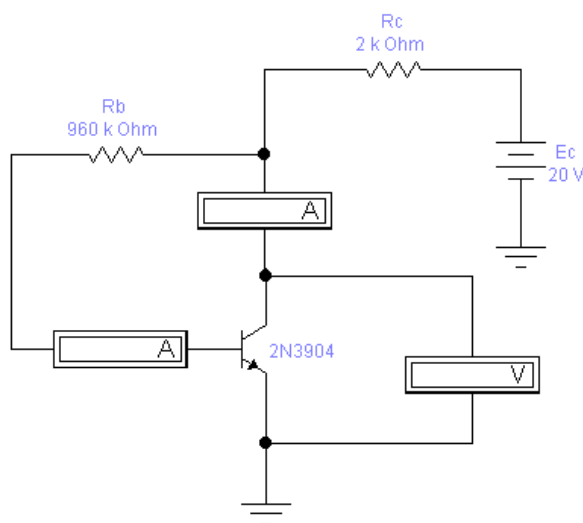


Рис. 9.10

б) За формулами з розділу “Короткі відомості з теорії” обчисліть струм колектора, використовуючи значення β_{DC} , обчислене раніше. $U_{BE0} \approx 0,7V$. За одержаним струмом колектора обчисліть значення напруги колектор-емітер. Результати запишіть в розділ “Результати експериментів”.

в) У розділі “Результати експериментів” для схеми на рис. 9.10 побудуйте пряму навантаження на вихідній характеристиці транзистора 2N3904. За результатами, одержаними в попередньому пункті, визначте робочу точку Q і зверніть увагу на її положенні на графіку.

г) Подвійним клацанням на зображенні транзистора відкрийте діалогове вікно вибору моделі транзистора. Рядок з найменуванням транзистора 2N3904

підсвічуватиметься. Щоб редагувати параметри моделі транзистора, натисніть Edit. Змініть коефіцієнт передачі по струму (βF) з 204 до 100, потім натисніть Ok. Натисніть Ok ще раз, щоб повернутися до схеми. Зміна коефіцієнта β дозволяє переконатися, що заміна транзисторів приводить до зміни струму колектора. Включіть схему. Запишіть результати вимірювань для струму бази, струму колектора і напруги колектор-емітер в розділ “Результати експериментів”.

д) За новими значеннями напруги колектор-емітер і струму колектора визначте положення робочої точки на прямій навантаження, побудованій в пункті в), і вкажіть її положення на графіку.

е) Відновіть попереднє значення коефіцієнта передачі за постійним струмом (βF) транзистора 2N3904 (204).

Результати експериментів

1. Дослідження параметрів робочої точки при заданні струму бази за допомогою одного резистора.

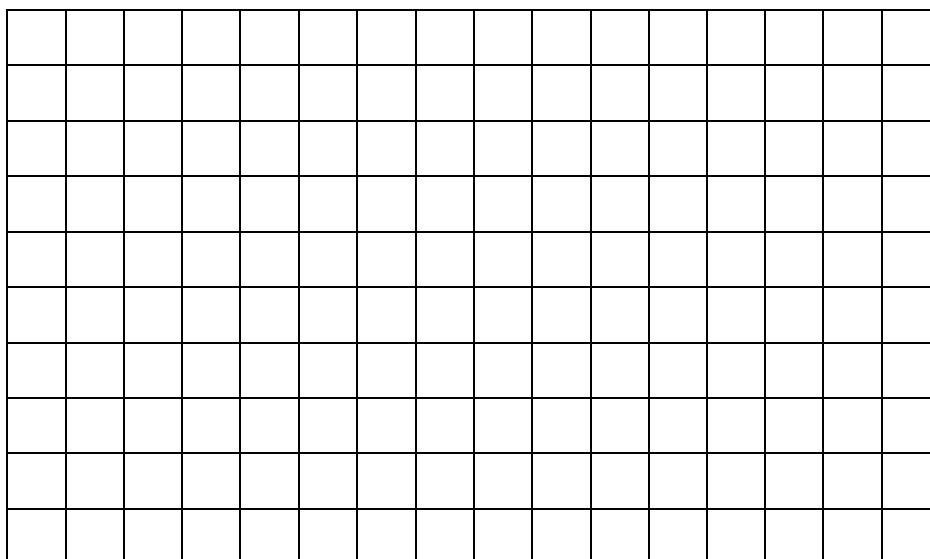
а)

Струм бази	V _____
Струм колектора	V _____
Напруга база-емітер	V _____
Напруга колектор-емітер	V _____

б)

Струм бази	P _____
Струм колектора	P _____
Напруга колектор-емітер	P _____

в), г), д) Визначення робочої точки каскаду



Відмітьте на графіку положення робочої точки після зміни коефіцієнта передачі транзистора за постійним струмом.

Струм бази	V _____
Струм колектора	V _____
Напруга колектор-емітер	V _____

ж)

Опір в ланцюзі бази	P _____
Струм бази	V _____
Струм колектора	V _____
Напруга колектор-емітер	V _____

2. Дослідження параметрів робочої точки при заданні струму бази за допомогою дільника напруги (NPN-транзистор).

а)

Струм бази	V _____
Струм колектора	V _____
Струм емітера	V _____
Напруга на базі транзистора	V _____
Напруга колектор-емітер	V _____
Статичний коефіцієнт передачі β_{DC}	P _____

б)

Напруга в точці U_B	P _____
Струм емітера	P _____
Струм колектора	P _____
Напруга колектор-емітер	P _____

в), г), д) Визначення робочої точки каскаду.

Відзначте на графіку положення робочої точки до і після зміни коефіцієнта передачі транзистора за постійним струмом.

Струм бази	V _____
Струм колектора	V _____
Напруга колектор-емітер	V _____

ж)

Відношення R_1/R_2	P _____
Напруга на базі транзистора	P _____
Струм бази	V _____
Струм колектора	V _____
Напруга колектор-емітер	V _____

3. Задання струму бази за допомогою дільника напруги (PNP-транзистор).

а)

Струм бази	V _____
Струм колектора	V _____
Струм емітера	V _____
Напруга на базі транзистора	V _____
Напруга колектор-емітер	V _____
Статичний коефіцієнт передачі β_{DC}	P _____

б).

Напруга в точці U_B	P _____
Струм емітера	P _____
Струм колектора	P _____
Напруга колектор-емітер	P _____

в).

Струм бази	V _____
Струм колектора	V _____
Напруга колектор-емітер	V _____

4. Дослідження параметрів робочої токи при заданні струму бази за допомогою додаткового джерела в ланцюзі емітера.

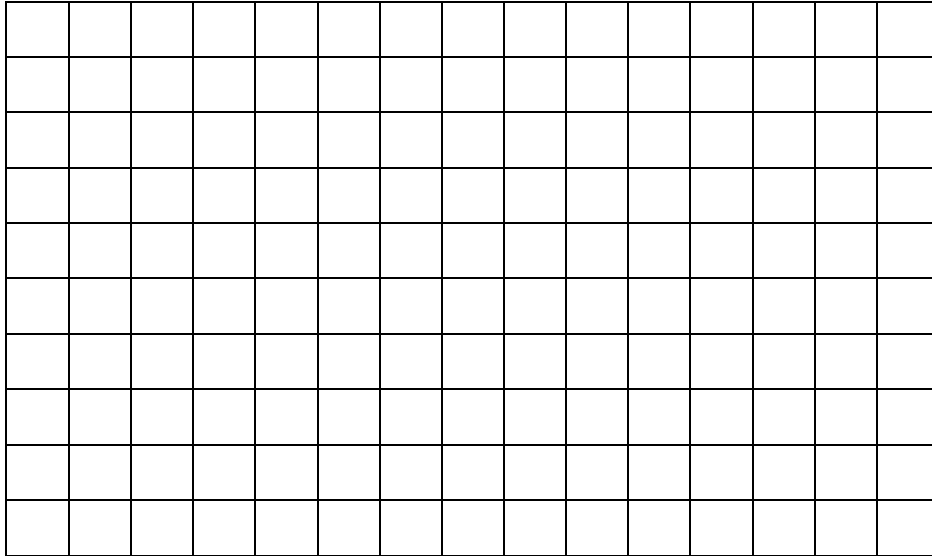
а).

Струм бази	V _____
Струм колектора	V _____
Струм емітера	V _____
Напруга на базі транзистора	V _____
Напруга колектор-емітер	V _____
Статичний коефіцієнт передачі β_{DC}	P _____

б)

Напруга в точці U_B P _____
Струм емітера P _____
Струм колектора P _____
Напруга колектор-емітер P _____

в), г), д) **Визначення робочої точки каскаду.**



Вкажіть на графіку на положенні робочої точки до і після зміни коефіцієнта передачі транзистора за постійним струмом.

Струм бази B _____
Струм колектора B _____
Напруга колектор-емітер B _____

5. Дослідження параметрів робочої точки при заданні струму бази за допомогою резистора в ланцюзі база-колектор.

а)

Струм бази B _____
Струм колектора B _____
Струм емітера B _____
Напруга колектор-емітер B _____
Статичний коефіцієнт передачі β_{DC} P _____

б)

Струм колектора P _____
Напруга колектор-емітер P _____

в), г), д) Визначення робочої точки каскаду.

Вкажіть на графіку положення робочої точки до і після зміни коефіцієнта передачі транзистора за постійним струмом.

Струм баз I_B _____
Струм колектора I_C _____
Напруга колектор-емітер U_{CE} _____

Контрольні питання

1. Як сильно відрізняються розрахункові і експериментальні дані?
2. Чи змінюється положення робочої точки при зміні статичного коефіцієнта передачі струму?
3. Яку умову необхідно виконати, щоб перевести транзистор в режим відсічки?
4. На скільки відрізняються напруги на колекторі в схемах рис. 9.6 і 9.7?
5. Чому рівна напруга колектор-емітер в режимі насичення?
6. Який зв'язок між струмом колектора і струмом емітера?
7. У чому перевага схеми із зміщенням в колі бази над схемою із зміщенням в колі емітера?
8. У чому перевага схеми з дільником напруги в колі бази над схемою із зміщенням в колі емітера?
9. Яку роль грає опір R_E в колі емітера для стабільності роботи схеми? В чому вона полягає?
10. Яка зі всіх описаних вище схем володіє більшою стабільністю?

Лабораторна робота №10

Робота транзисторного каскаду в режимі малого сигналу

Мета роботи

6. Дослідження коефіцієнта підсилення за напругою в підсилювачах із загальним емітером і загальним колектором.
7. Визначення фазового зсуву сигналів у підсилювачах.
8. Вимірювання вхідного опору підсилювачів.
9. Дослідження впливу вхідного опору підсилювача на коефіцієнт підсилення за напругою.
10. Вимірювання вихідного опору підсилювачів.
11. Аналіз впливу навантаження підсилювача на коефіцієнт підсилення за напругою.
12. Дослідження впливу розділювального конденсатора на підсилення змінного сигналу.
13. Аналіз впливу опору R_E в колі емітера на коефіцієнт підсилення за напругою.

Прилади і елементи

Осцилограф, функціональний генератор, біполярний транзистор 2N3904, джерела змінної ЕРС, джерела постійної ЕРС, конденсатори, резистори.

Короткі відомості з теорії

Коефіцієнт підсилення за напругою визначається відношенням амплітуд вихідного сигналу синусоїдальної напруги до вхідного:

$$K_U = \frac{U_{ВИХ}}{U_{ВХ}}$$

1. Підсилювач із загальним емітером.

Схема підсилювача із загальним емітером представлена на рис. 10.1.

Коефіцієнт підсилення за напругою підсилювачі із ЗЕ приблизно рівний відношенню опору в колі колектора r_K до опору в колі емітера r_E :

$$K_U = \frac{r_K}{r_E},$$

де r_K – опір в колі колектора, який визначається паралельним з'єднанням опору колектора R_K і опором навантаження R_H (який не показаний на рис. 10.1), чю роль може відігравати, наприклад наступний підсилювальний каскад:

$$r_K = \frac{R_K \cdot R_H}{R_K + R_H},$$

r_E – диференціальний опір емітерного переходу, рівний $r_E = \frac{25 мВ}{I_E}$.

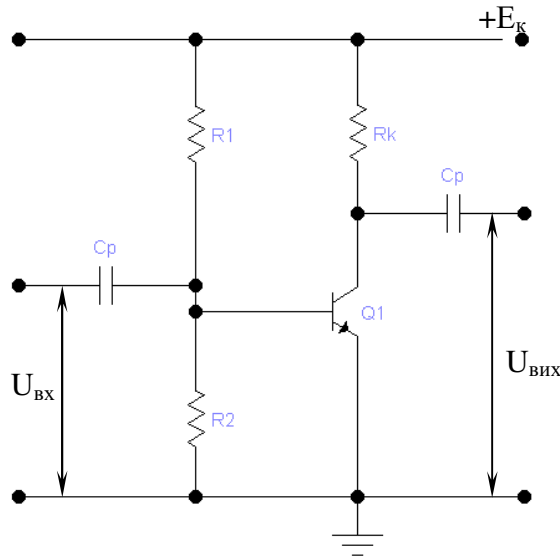


Рис. 10.1. Схема підсилювача із ЗЕ

Для підсилювача з опором R_E в колі емітера коефіцієнт підсилення рівний:

$$K_U = \frac{r_K}{r_E + R_E}.$$

Вхідний опір підсилювача по змінному струму визначається як відношення амплітуд синусоїдальної вхідної напруги u_{BX} і вхідного струму i_{BX} :

$$r_{BX} = \frac{u_{BX}}{i_{BX}}.$$

Вхідний опір транзистора r_i визначається за формулою:

$$r_i = \beta \cdot r_E.$$

Вхідний опір підсилювача по змінному струму r_{BX} обчислюється як паралельне з'єднання опорів r_i , R_1 і R_2 :

$$\frac{1}{r_{BX}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{r_i}.$$

Значення диференціального вхідного опору схеми знаходиться за напругою холостого ходу u_{XX} на виході підсилювача, яка може бути виміряна як спад напруги на опорі навантаження, який перевищує 200 кОм , і за напругою u_{BHX} , виміряній для даного опору навантаження R_H , з наступного рівняння, яке розв'язується відносно r_{BHX} :

$$\frac{u_{BHX}}{u_{XX}} = \frac{R_H}{R_H + r_{BHX}}.$$

!!! Опір $R_H \geq 200 \text{ кОм}$ можна вважати розривом у колі навантаження.

2. Підсилювач і загальним колектором.

Схема підсилювача із ЗК чи емітерного повторювача представлена на рис. 10.2.

Коефіцієнт підсилювача за напругою підсилювача із ЗК визначається за наступного виразу:

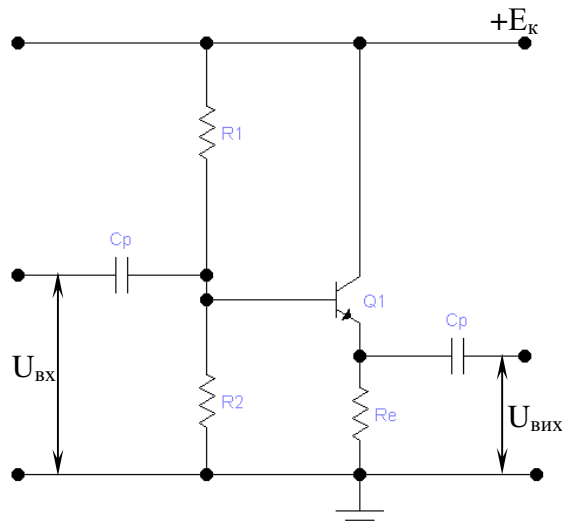


Рис. 10.2. Схема підсилювача із ЗК

$$K_U = \frac{R_E}{r_E + R_E}.$$

Яке видно з виразу, коефіцієнт підсилення каскаду із ЗК приблизно рівний 1, оскільки r_E зазвичай мале у порівнянні з опором R_E . Через це каскад називають емітерним повторювачем. Вхідний опір підсилювача r_{BX} по змінному струму визначається як відношення амплітуд синусоїдальної вхідної напруги u_{BX} і вхідного струму i_{BX} :

$$r_{BX} = \frac{u_{BX}}{i_{BX}}.$$

Вхідний опір емітерного повторювача по змінному струму визначається наступним виразом:

$$r_{iE} = \beta \cdot (r_E + R_E).$$

У даному випадку для визначення вхідного опору каскаду потрібно прийняти до уваги опори резисторів R_1 і R_2 . Із врахуванням сказаного отримаємо:

$$\frac{1}{R_{BX}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{r_{iE}}.$$

Також при розрахунку схем необхідно враховувати опір навантаження, яке включається паралельно опору емітера R_E .

Із виразів для вхідного опору видно, що емітерний повторювач володіє високим вхідним опором у порівнянні з каскадом із ЗЕ.

У загальному випадку опір емітерного повторювача в $\beta_{AC} + 1$ раз менший опору джерела сигналу $R_{ДЖ}$ на вході емітерного повторювача:

$$r_{ВИХ} = \frac{R_{ДЖ}}{\beta_{AC} + 1} + r_E \approx \frac{R_{ДЖ}}{\beta_{AC}} + r_E.$$

Якщо опір $R_{ДЖ}$ джерела сигналу на вході емітерного повторювача достатньо малий, то вихідний опір емітерного повторювача буде рівний диференціальному опору переходу база-емітер:

$$r_{ВИХ} = r_E.$$

У випадку, коли опір $R_{ДЖ}$ джерела сигналу на вході дуже великий (порівнюваний з $\beta_{AC} \cdot R_E$), опір R_E повинен бути врахований як увімкнений паралельно знайденому вихідному опору емітерного повторювача.

Експериментально вихідний опір каскаду можна визначити за результатами двох вимірювань: вимірювання напруги холостого ходу u_{XX} (на вихід каскаду підключається опір порядку 200 кОм та вимірюється спад напруги на ньому) та вимірювання вихідної напруги $u_{ВИХ}$ при наявності навантаження опором R_H . Після вимірювання вихідний опір може бути розрахований за формулою:

$$r_{ВИХ} = \frac{R_H (u_{XX} - u_{ВИХ})}{u_{ВИХ}}.$$

Завдяки високому вхідному і низькому вихідному опорам каскад із ЗК дуже часто використовується в якості каскаду узгодження між джерелом і навантаженням.

Порядок проведення експериментів

Експеримент 1. Дослідження каскаду із загальним емітером в області малого сигналу.

а) Отримайте завдання у викладача. Складіть схему, зображену на рис. 10.3. Установлені параметри пристроїв також повинні відповідати зображенню.

б) Включіть схему. Для встановленого режиму в розділ “Результати експериментів” запишіть результати вимірювань амплітуд вхідної і вихідної напруги, різниці фаз вхідного і вихідного синусоїдальних сигналів (різницю фаз можна визначити за допомогою Боде-плоттера). За результатами вимірювань вхідної і вихідної синусоїдальних напруг обчисліть коефіцієнт підсилення

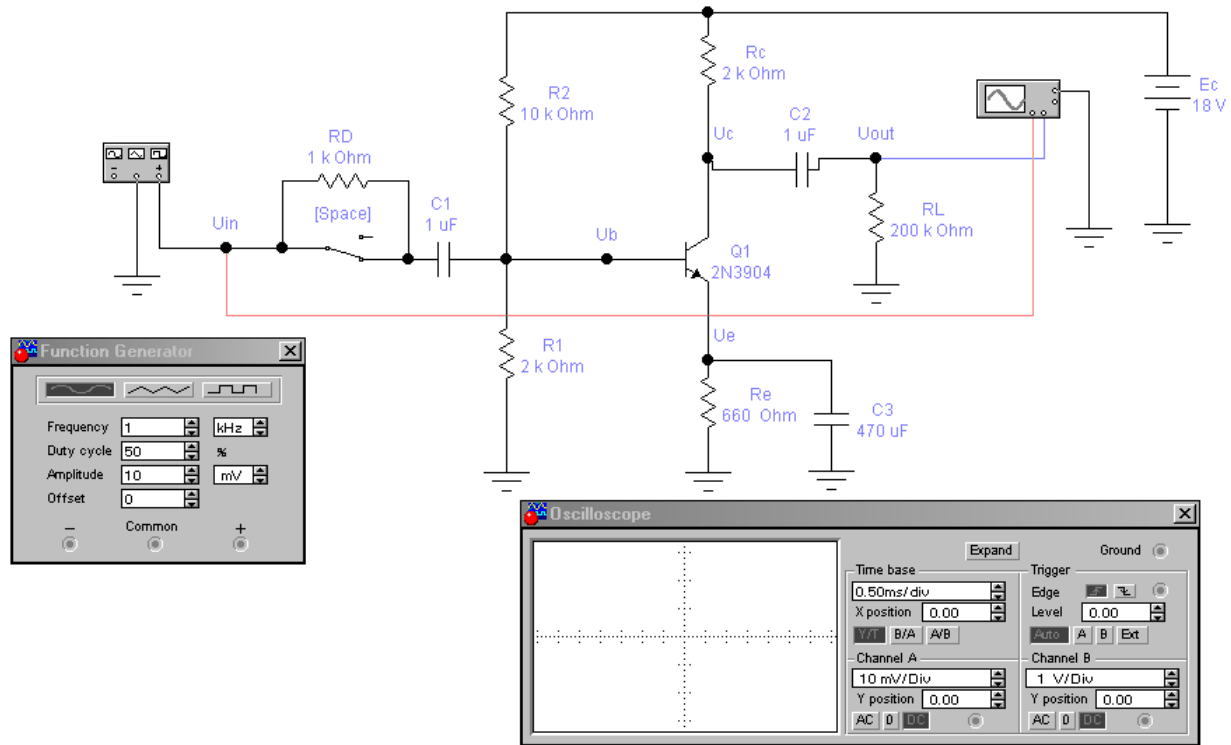


Рис. 10.3.

підсилювача за напругою. Результат запишіть в розділ “Результати експериментів”.

в) Для схеми на рис. 10.3 визначте струм емітера. За його значенням обчисліть диференціальний опір r_E емітерного переходу. Використовуючи знайдене значення, обчисліть коефіцієнт підсилення каскаду за напругою. Результати запишіть в розділ “Результати експериментів”.

г) Підключіть резистор R_D між точкою U_{in} і конденсатором C_1 , розімкнувши ключ (Space). Включіть схему. Виміряйте амплітуди вхідної u_{BX} і вихідної u_{BHX} напруг. Обчисліть нове значення коефіцієнта підсилення за напругою за результатами вимірювань. Результати запишіть в розділ “Результати експериментів”.

д) Перемістіть щуп каналу А осцилографа у вузол U_b . Знову увімкніть схему і виміряйте амплітуду u_b вхідної синусоїдальної напруги в точці U_b . За результатами вимірювання напруги u_b і u_{BHX} обчисліть коефіцієнт підсилення за напругою підсилювального каскаду. За результатами вимірювання амплітуд напруг u_{BX} і u_b обчисліть вхідний струм i_{BX} . За значеннями u_{BX} і i_{BX} обчисліть вхідний опір r_{BX} підсилювача по змінному струму. Результати запишіть в розділ “Результати експериментів”.

е) За значенням коефіцієнта підсилення струму β , отриманому в експерименті 1 лабораторної роботи №8, і величині диференціального емітерного опору r_E обчисліть вхідний опір транзистора r_i . Обчисліть значення r_{BX} ,

використовуючи значення опорів R_1 , R_2 і r_i . Результати запишіть в розділ “Результати експериментів”.

ж) Замкніть резистор R_D між вузлом U_{in} і конденсатором C_1 , замкнувши ключ (Space). Перемістіть щуп каналу А осцилографа у вузол U_{in} . Встановіть номінал резистора $R_L = 2\text{кОм}$. Потім включіть схему та виміряйте амплітуди вхідної і вихідної синусоїдальної напруг. Використовуючи результати вимірювань, обчисліть нове значення коефіцієнта підсилення за напругою. Результати запишіть в розділ “Результати експериментів”.

з) Використовуючи результати вимірювань амплітуди вихідної синусоїдальної напруги в пункті б) і пункті ж), значення опору навантаження в пункті ж), обчисліть вихідний опір підсилювача. Результати запишіть в розділ “Результати експериментів”.

и) Установіть номінал резистора $R_L = 200\text{кОм}$. Переставте щуп каналу В осцилографа у вузол U_c та включіть схему. Виміряйте постійну складову вихідного сигналу і запишіть результат в розділ “Результати експериментів”.

к) Верніть щуп каналу В осцилографа у вузол U_{out} . На осцилографі встановіть масштаб для входу 10мВ/под . Заберіть шунтуючий конденсатор C_3 і включіть схему. Виміряйте амплітуди вхідної і вихідної синусоїдальної напруги. За результатами вимірювань обчисліть значення коефіцієнта підсилення каскаду із ЗЕ з опором в колі емітера за напругою. Результати запишіть в розділ “Результати експериментів”.

л) За величиною опору r_E і значенням опору R_E обчисліть значення коефіцієнта підсилення підсилювача із ЗЕ з опором в колі емітера за напругою.

Експеримент 2. Дослідження каскаду із загальним колектором в області малого сигналу.

а) Складіть схему, зображену на рис. 10.4. Установлені параметри пристроїв в схемі повинні відповідати установочним параметрам пристроїв на рисунку. Для зручності при проведенні експерименту залишіть збільшеним тільки зображення осцилографа і мультиметра. Мультиметр повинен бути встановлений для вимірювання постійної напруги.

б) Включіть схему. Виміряйте постійні складові напруги в точках U_b і U_e . Обчисліть постійні складові напруги в точках U_b і U_e та струм емітера, використовуючи значення параметрів компонентів схеми ($U_{BE} \approx 0,7\text{В}$). Результати запишіть в розділ “Результати експериментів”.

в) Закрийте збільшене зображення мультиметра, залишивши збільшеним тільки зображення осцилографа. Включіть схему. Виміряйте амплітуди вхідної і вихідної напруги. Визначте різницю фаз між вхідною і вихідною напругою (для цього можна використати Бодє-плоттер). За результатами вимірювань обчисліть коефіцієнт підсилення за напругою. Обчисліть коефіцієнт підсилення емітерного повторювача за напругою,

використовуючи параметри схеми. Результати запишіть в розділ “Результати експериментів”.

г) Підключіть резистор R_D між U_{in} і конденсатором C_1 , розімкнувши ключ (Space). Включіть схему. Виміряйте амплітуди вхідної u_{BX} і вихідної u_{BIX} синусоїдальної напруг. За результатами вимірювань амплітуди вхідного синусоїдального сигналу в цьому і попередньому пунктах обчисліть вхідний струм. За величинами i_{BX} і u_{BX} обчисліть диференціальний вхідний опір r_{BX} . Результати запишіть в розділ “Результати експериментів”.

д) Використовуючи значення параметрів компонентів схеми, обчисліть вхідний опір каскаду r_{BX} ($\beta = 200$).

е) Закоротіть резистор R_D , замкнувши ключ (Space). Змініть номінал резистора R_L до 200 кОм . Потім включіть схему і запишіть результати вимірювання вхідної напруги в розділ “Результати експериментів”. Ця напруга приблизно рівна напрузі холостого ходу, так як опір 200 кОм можна вважати розривом кола. Зменшіть значення цього опору до 200 Ом і знову включіть схему. Виміряйте амплітуду напруги на навантаженні. Обчисліть вихідний опір каскаду за результатами вимірювання. Запишіть значення напруги холостого ходу, напруги на навантаженні і вихідного опору каскаду в розділ “Результати експериментів”.

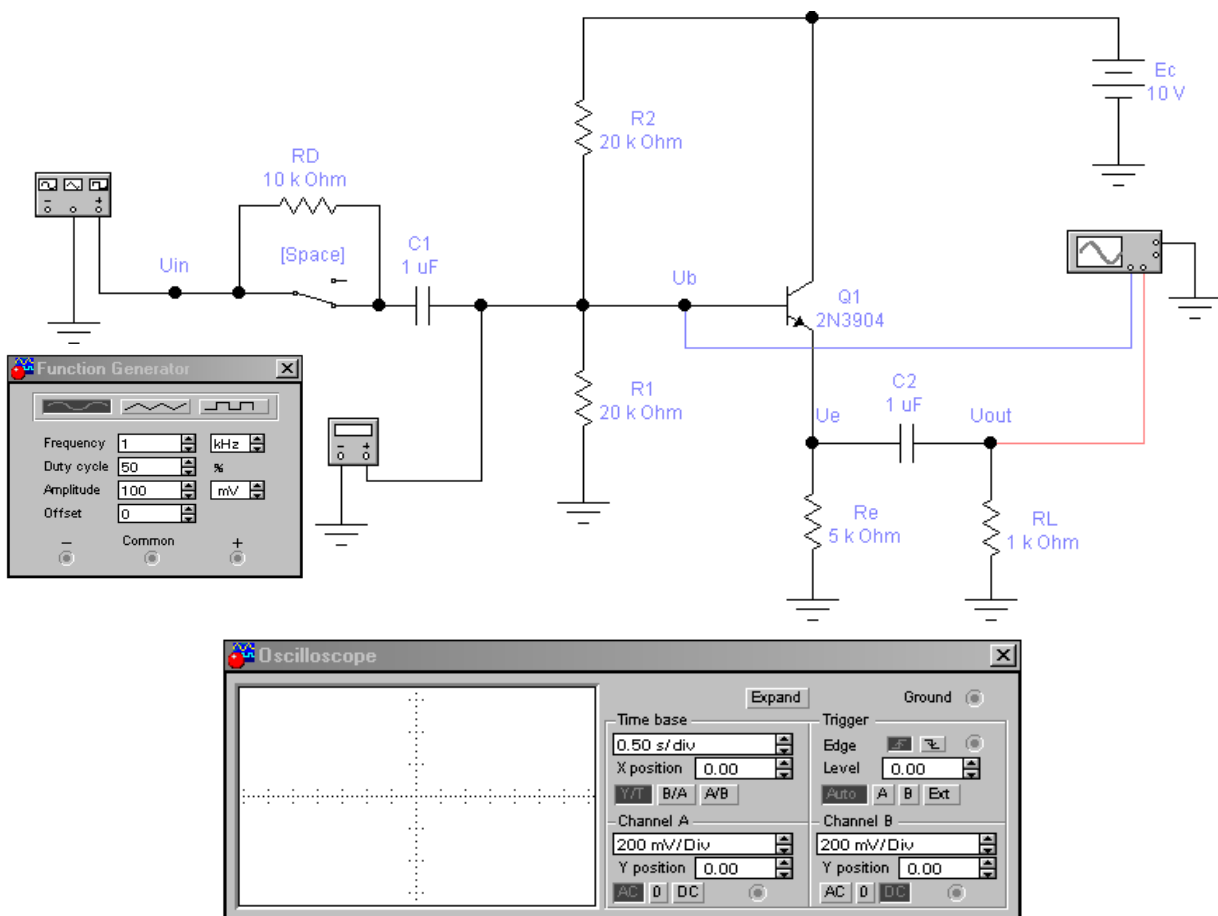


Рис. 10.4.

Результати експериментів

1. Дослідження каскаду із загальним емітером в області малого сигналу.

б)

Амплітуда вхідної напруги B _____

Амплітуда вихідної напруги B _____

Різниця фаз вхідної і вихідної B _____

синусоїдальної напруги

Коефіцієнт підсилення підсилювача P _____

за напругою

в)

Струм емітера P _____

Диференціальний опір r_E P _____

емітерного переходу

Коефіцієнт підсилення підсилювача P _____

за напругою

г)

Амплітуда вхідної напруги B _____

Амплітуда вихідної напруги B _____

Коефіцієнт підсилення підсилювача P _____

за напругою

д)

Амплітуда вхідної напруги u_B B _____

в точці U_b

Коефіцієнт підсилення підсилювача P _____

за напругою

Вхідний струм i_{BX} P _____

Вхідний опір підсилювача P _____

е)

Коефіцієнт передачі струму _____

Диференціальний опір r_E _____

емітерного переходу

Опір R_1 _____

Опір R_2 _____

Вхідний опір транзистора P _____

Вхідний опір підсилювача P _____

ж)

Амплітуда вхідної напруги B _____

Амплітуда вихідної напруги B _____

Коефіцієнт підсилення підсилювача P _____
за напругою

Вихідний опір підсилювача P _____

з)

Амплітуда напруги холостого ходу _____

Амплітуда вихідної напруги _____

Опір навантаження _____

и)

Постійна складова вихідної напруги B _____

к)

Амплітуда вхідної напруги B _____

Амплітуда вихідної напруги B _____

Коефіцієнт підсилення каскаду із ЗЕ P _____

з опором в колі емітера за напругою

л)

Коефіцієнт підсилення підсилювача P _____
за напругою

2. Дослідження каскаду із загальним колектором в області малого сигналу.

б)

Постійна складова вхідної напруги в точці U_b

B _____ P _____

Постійна складова вхідної напруги в точці U_e

B _____ P _____

Струм емітера P _____

в)

Амплітуда вхідної напруги B _____

Амплітуда вихідної напруги B _____

Різниця фаз вхідної і вихідної
синусоїдальної напруги B _____

Коефіцієнт підсилення підсилювача P _____
за напругою

P _____

г)

Амплітуда вхідної напруги u_B B _____
в точці U_b

Амплітуда вихідної напруги B _____

Вхідний струм i_{BX} P _____

Диференціальний вхідний опір r_{BX} P _____

д)
Диференціальний вхідний опір r_{BX} P _____

е)
Напруга холостого ходу B _____
Напруга на навантаженні 200 Ом B _____
Вихідний опір каскаду P _____

Контрольні питання

1. Яка відмінність практичного і теоретичного значень коефіцієнта підсилення за напругою?
2. Яка різниця фаз між вхідним і вихідним синусоїдальними сигналами в підсилювачі із ЗЕ? ЗК?
3. Як впливає вхідний опір на коефіцієнт підсилення за напругою?
4. Який зв'язок між вхідною напругою (вузол U_{in}) і напругою на базі (вузол U_b) при включенні між ними опору?
5. Яка відмінність практичного і теоретичного значень вхідного опору для підсилювача по змінному струму?
6. Яка відмінність коефіцієнта підсилення за напругою, обчисленого в п. к), від коефіцієнта підсилення за напругою з п. в) лабораторної роботи №8? Відповідь поясніть.
7. Який вплив має зменшення опору навантаження на коефіцієнт підсилення за напругою?
8. Який зв'язок між вихідним опором підсилювача і опором в колі колектора R_K ?
9. Як впливає опір R_E на коефіцієнт підсилення за напругою підсилювача?
10. Яка відмінність практичного і теоретичного значень напруги U_B за постійним струмом?
11. Яка відмінність практичного і теоретичного значень напруги U_E за постійним струмом?
12. Яка відмінність практичного і теоретичного значень коефіцієнта підсилення за напругою підсилювача із ЗК? Чому значення коефіцієнта підсилення за напругою менше одиниці?
13. Яка відмінність практичного і теоретичного значень вхідного опору за змінним струмом підсилювача із ЗК? Чи велике це значення?
14. Чи велике значення вихідного опору підсилювача із ЗК?
15. Яка різниця фаз вхідного і вихідного синусоїдальних сигналів?
16. В чому полягає основна перевага схеми підсилювача із ЗК? В чому головне призначення цієї схеми?

Лабораторна робота №11

Дослідження польового транзистора з керованим $p-n$ -переходом

Мета роботи:

1. Одержання ВАХ польового транзистора з керованим $p-n$ -переходом.
2. Розрахунок параметрів польового транзистора з керованим $p-n$ -переходом на основі отриманих ВАХ.

Прилади і елементи

Польовий транзистор 2N3686, джерела постійної ЕРС, амперметр, вольтметри.

Короткі відомості з теорії

Первинна назва польових транзисторів – уніполярні транзистори – була пов'язана з тим, що в таких транзисторах використовуються основні носії тільки одного типу (електрони або дірки). Процеси інжекції і дифузії в таких транзисторах практично відсутні, в усякому разі, вони не відіграють принципової ролі. Основним способом руху носіїв є дрейф в електричному полі.

Для того, щоб керувати струмом в напівпровіднику при постійному електричному полі, потрібно змінювати питому провідність напівпровідникового шару або його площу. На практиці використовуються обидва способи і базуються вони на ефекті поля (керування напругою на затворі). Тому уніполярні транзистори зазвичай називають польовими транзисторами. Провідний шар, по якому протікає струм, називають каналом. Звідси ще одна назва такого класу транзисторів – каналні транзистори.

Канали можуть бути приповерхневими і об'ємними. Приповерхневі канали являють собою або збагачені шари, обумовлені наявністю донорних домішок в діелектрику, або інверсійні шари, що утворюються під дією зовнішнього поля. Об'ємні канали є ділянками однорідного напівпровідника, відокремлені від поверхні збідненим шаром.

Транзистори з об'ємним каналом відрізняються тим, що збіднений шар створюється за допомогою $p-n$ -переходу. Тому їх часто називають польовими транзисторами з $p-n$ -переходом або просто польовими транзисторами.

Транзистори такого типу вперше описано Шоклі в 1952 р.

У бібліотеці компонентів програми EWB вони представлені двома зразками: n -каналним (а) і p -каналним і показані на рис. 11.1, а і б відповідно, де 1 – затвор (gate) – керуючий електрод; 2 – витік (source) – електрод, від якого починають рух основні носії (у першому типі – електрони, в другому – дірки); 3 – стік (drain) – електрод, що приймає ці носії.

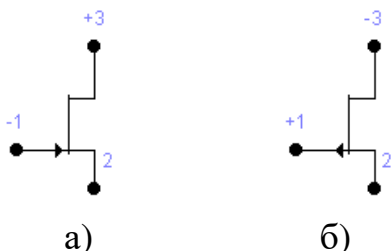


Рис. 11.1. Польові n -каналні (а) і p -каналні (б) транзистори з керованим $p-n$ -переходом.

За аналогією з біполярними транзисторами розрізняють три схеми увімкнення польових транзисторів: із загальним затвором (ЗЗ), із загальним витоком (ЗВ) та із загальним стоком (ЗС).

Для дослідження сімейства вихідних ВАХ польового транзистора в схемі із ЗВ може бути використана схема, подана на рис. 11.2. Вона містить джерело напруги затвор-витік U_g , досліджуваний транзистор VT, джерело живлення U_{cc} , вольтметр U_d для контролю напруги стік-витік і амперметр I_d для вимірювання струму стоку.

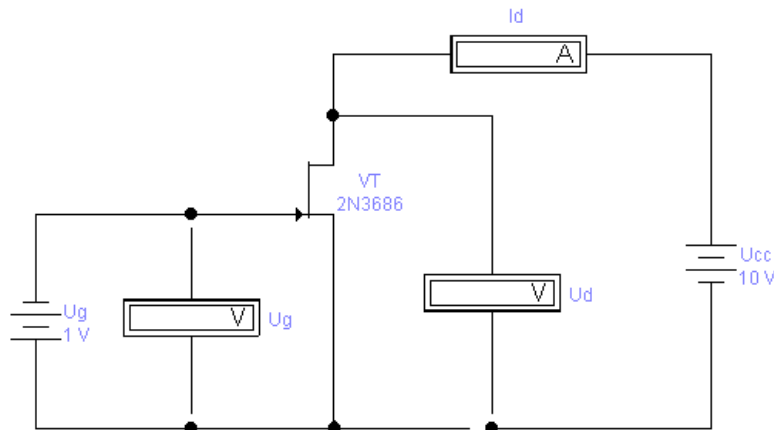


Рис. 11.2. Схема для дослідження ВАХ польового транзистора з керованим p - n -переходом

До основних характеристик польового транзисторів належать:

1. Стік-затворна характеристика – це залежність струму стоку I_d від напруги на затворі U_g при сталій напрузі між витоком і стоком U_{cc} .

2. Стокова характеристика – це залежність струму стоку I_d від напруги U_{cc} при постійній напрузі на затворі U_g .

До основних параметрів польового транзистора належать:

1. Максимальне значення струму стоку I_{dmax} при напрузі на затворі U_g , рівній нулю.

1. Напряга відсічки – напруга на затворі U_g , при якій струм стоку I_d дорівнює нулю.

2. Крутизна стік-затворної характеристики. Вона показує, на скільки міліампер зміниться струм стоку I_d при зміні напруги на затворі U_g на 1 В.

$$S = \frac{\Delta I_d}{\Delta U_g} \text{ при } U_{cc} = const, S = \frac{I_{d2} - I_{d1}}{U_{g2} - U_{g1}}$$

3. Внутрішній (чи вихідний) опір польового транзистора, який визначається рівністю $R_i = \Delta U_{cc} / \Delta I_d$ при $U_g = const$.

Порядок проведення експериментів

Експеримент 1. Побудова стік-затворної характеристики польового транзистора.

а) Отримайте завдання у викладача. Складіть схему, зображену на рис. 11.2. Міняючи напругу U_g від 0 до 2,5 В з кроком 0,1 В при незмінній напрузі U_{cc} , визначте значення струму стоку I_d . Результати вимірювання струму стоку I_d і напруги на затворі U_g запишіть в розділ “Результати експериментів”.

б) Змініть номінал джерела ЕРС U_{cc} до 1 В. Згідно процедури, описаній в пункті а), отримайте дані, необхідні для побудови стік-затворної характеристики при новому значенні напруги U_{cc} .

в) За одержаними результатами побудуйте стік-затворні характеристики польового транзистора для обох значень напруги U_{cc} . Визначте максимальне значення струму стоку та напруги відсічки в обох випадках. Отримані значення запишіть в розділ “Результати експериментів”.

Експеримент 2. Побудова сімейства стокових характеристик польового транзистора.

а) У схемі на рис. 11.2 установіть номінал джерела ЕРС U_g рівним 0 В. Міняючи значення напруги U_{cc} від 0 до 2 В з кроком 0,2 В і від 2 до 10 В з кроком 1 В, визначте значення струму стоку I_d . Значення запишіть в розділ “Результати експериментів”.

б) Для значень напруги U_g , рівних 1, 2 і 5 В, аналогічним чином визначте значення струму I_d як функції U_{cc} . Результати запишіть в розділ “Результати експериментів”.

в) Побудуйте сімейство стокових (вихідних) характеристик польового транзистора.

Експеримент 3. Визначення крутизни і внутрішнього опору польового транзистора за стік-затворною характеристикою.

а) Згідно формули, наведеної в розділі “Короткі відомості з теорії”, обчисліть значення крутизни стік-затворної характеристики польового транзистора в області насичення та відсічки для кривої, побудованої при $U_{cc} = 10 В$. Результати запишіть в розділ “Результати експериментів”.

б) Згідно формули, наведеної в розділі “Короткі відомості з теорії”, обчисліть значення внутрішнього опору польового транзистора в області насичення та відсічки. Результати запишіть в розділ “Результати експериментів”.

Експеримент 4. Визначення крутизни і внутрішнього опору польового транзистора за стоковими характеристиками.

а) Згідно формули, наведеної в розділі “Короткі відомості з теорії”, обчисліть значення крутизни стік-затворної характеристики польового

транзистора в початковій області та області насичення для двох довільно вибраних вами залежностей $I_d = f(U_{cc})$, побудованих при різних значеннях напруги U_g . Результати запишіть в розділ “Результати експериментів”.

б) Згідно формули, наведеної в розділі “Короткі відомості з теорії”, обчисліть значення внутрішнього опору польового транзистора в початковій області та області насичення для довільно вибраної вами залежності $I_d = f(U_{cc})$. Результати запишіть в розділ “Результати експериментів”.

Результати експериментів

Експеримент 1. Побудова стік-затворної характеристики польового транзистора.

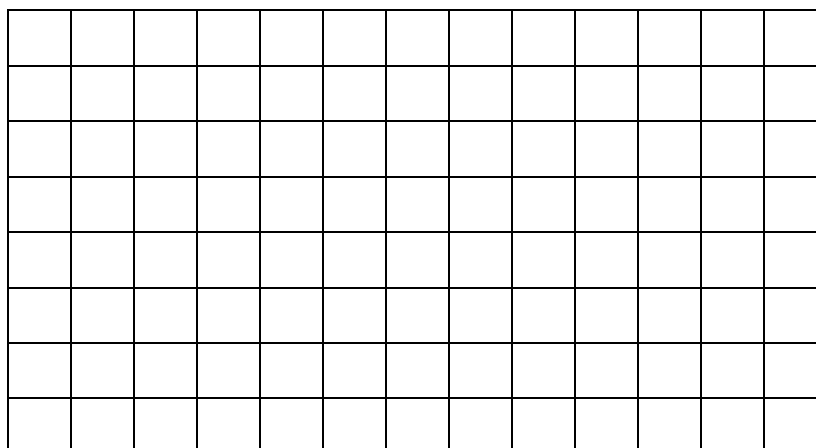
а) Напруга стік-витік $U_{cc} = 10\text{ В}$.

$U_g, \text{ В}$	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1	1,1	1,2
$I_d, \text{ мкА}$													
$U_g, \text{ В}$	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2	2,1	2,2	2,3	2,4	2,5
$I_d, \text{ мкА}$													

б) Напруга стік-витік $U_{cc} = 1\text{ В}$.

$U_g, \text{ В}$	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1	1,1	1,2
$I_d, \text{ мкА}$													
$U_g, \text{ В}$	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2	2,1	2,2	2,3	2,4	2,5
$I_d, \text{ мкА}$													

в) Графік стік-затворних характеристик польового транзистора



- Струм стоку $I_{d_{\max}}$ при $U_{cc} = 10\text{ В}$ В _____
- Напруга відсічки при $U_{cc} = 10\text{ В}$ В _____
- Струм стоку $I_{d_{\max}}$ при $U_{cc} = 1\text{ В}$ В _____
- Напруга відсічки при $U_{cc} = 1\text{ В}$ В _____

Експеримент 2. Побудова сімейства стокових характеристик польового транзистора.

а), б)

U_{cc}, B	$U_g = 0B$	$U_g = 1B$	$U_g = 2B$	$U_g = 5B$
	$I_d, мкА$	$I_d, мкА$	$I_d, мкА$	$I_d, мкА$
0				
0,2				
0,4				
0,6				
0,8				
1				
1,2				
1,4				
1,6				
1,8				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				

в) Графіки сімейства стокових характеристик польового транзистора

Експеримент 3. Визначення крутизни за стік-затворною характеристикою.

а) Крутизна стік-затворної характеристики S

область насичення P _____

область відсічки P _____

Експеримент 4. Визначення внутрішнього опору польового транзистора за стоковими характеристиками.

а) Внутрішній опір польового транзистора R_i

початкова область P _____

область насичення P _____

Контрольні запитання

1. Що називається польовим транзистором?
2. Як називаються області польового транзистора? Як польовий транзистор позначається на електричних схемах?
3. Який принцип дії польового транзистора з керуванням $p-n$ -переходом?
4. Назвіть основні параметри і характеристики польового транзистора.

Лабораторна робота №12

Дослідження польового транзистора з ізолюваним затвором

Мета роботи:

1. Одержання ВАХ польового транзистора з ізолюваним затвором.
2. Розрахунок параметрів польового транзистора з ізолюваним затвором на основі отриманих ВАХ.

Прилади і елементи

Польовий транзистор, джерела постійної ЕРС, амперметр, вольтметри.

Короткі відомості з теорії

Первинна назва польових транзисторів – уніполярні транзистори – була пов'язана з тим, що в таких транзисторах використовується основні носії тільки одного типу (електронів або дірок). Процеси інжекції і дифузії в таких транзисторах практично відсутні, в усякому разі, вони не відіграють принципової ролі. Основним способом руху носіїв є дрейф в електричному полі.

Для того, щоб керувати струмом в напівпровіднику при постійному електричному полі, потрібно змінювати питому провідність напівпровідникового шару або його площу. На практиці використовуються обидва способи і базуються вони на ефекті поля (управління напругою на затворі). Тому уніполярні транзистори зазвичай називають польовими транзисторами. Провідний шар, по якому протікає струм, називають каналом. Звідси ще одна назва такого класу транзисторів – каналні транзистори.

Канали можуть бути приповерхневими і об'ємними. Приповерхневі канали являють собою або збагачені шари, обумовлені наявністю донорних домішок в діелектрику, або інверсійні шари, що утворюються під дією зовнішнього поля. Об'ємні канали є ділянками однорідного напівпровідника, відокремлені від поверхні збідненим шаром.

Транзистори з приповерхневим каналом володіють структурою метал-діелектрик-напівпровідник (МДН-транзистори). В окремому випадку, якщо діелектриком є оксид (діоксид кремнію), використовується назва МОН-транзистори.

МДН-транзистори бувають двох типів: транзистори з вбудованим та з індукованим каналами (у останньому випадку канал наводиться під дією напруги, прикладеної до керуючих електродів).

Транзистори першого типу можуть працювати як в режимі збіднення каналу носіями заряду, так і в режимі збагачення. Другий тип МДН-транзисторів можна використовувати тільки в режимі збагачення. На відміну від транзисторів з керованим *p-n*-переходом металічний затвор МДН-транзисторів ізолюваний від напівпровідника шаром діелектрика та існує додатковий вивід від кристала, який називається підкладкою, на якій виконано пристрій.

Керуюча напруга подається між затвором і підкладкою. Під впливом утвореного електричного поля біля поверхні напівпровідника створюється p -канал за рахунок відштовхування електронів від поверхні углиб напівпровідника в транзисторі з індукованим каналом. У транзисторі з вбудованим каналом відбувається розширення або звуження наявного каналу. Під дією керованої напруги змінюється ширина каналу і, відповідно, опір і струм транзистора.

Напруга на затворі, при якій індукується канал, називається пороговою напругою. При практичному визначенні цієї напруги зазвичай задається певний струм стоку, при якому потенціал затвора досягає порогової напруги (0,2...1 В для транзисторів з n -каналом і 2...4 В з p -каналом).

По мірі віддалення від поверхні напівпровідника концентрація індукованих дірок зменшується. На відстані, приблизно рівній половині товщини каналу, електропровідність стає власною (бездомішковою). Далі розташовується ділянка, збіднена основними носіями заряду, в якій існує область позитивно заряджених іонів донорної домішки. Наявність збідненої ділянки обумовлена також відштовхуванням основних носіїв заряду від поверхні вглиб напівпровідника.

Таким чином, стік, витік і канал, що є робочими областями МДН-транзистора, ізолювані від підкладки p - n -переходом. Очевидно, що ширина p - n -переходу і ширина каналу змінюється при подачі на підкладку додаткової напруги, тобто струмом витоку можна керувати не тільки шляхом зміни напруги на затворі, але і за рахунок зміни напруги на підкладці. В цьому випадку управління МДН-транзистором аналогічно польовому транзистору з керованим p - n -переходом.

Товщина інверсного шару значно менше товщини збідненого шару. Якщо останній складає сотні або тисячі нанометрів, то товщина індукованого каналу складає всього 1...5 нм. Іншими словами, дірки індукованого каналу "притиснуті" до поверхні напівпровідника, тому структура і властивості границі напівпровідник-діелектрик відіграють в МДН-транзисторах дуже важливу роль.

Дірки, які утворюють канал, поступають в нього не тільки з підкладки n -типу, де їх мало і генеруються вони порівняно повільно, але також з шарів p -типу витоку і стоку, де їх концентрація практично не обмежена, а напруженість поля поблизу цих електродів достатньо велика.

У транзисторах з вбудованим каналом струм в колі стоку протікатиме і при нульовій напрузі на затворі. Для його припинення необхідно до затвора прикласти позитивну напругу (при структурі з каналом p -типу), рівну або більшу напругу відсічки. При цьому дірки з інверсного шару будуть практично повністю витиснені углиб напівпровідника і канал зникне. При прикладанні негативної напруги канал розширюється і струм знову збільшується. Таким чином МДН-транзистори з вбудованими каналами працюють в режимах як збіднення, так і збагачення.

Як і польові транзистори з керованим p - n -переходом, МДН-транзистори при малих напругах стік-витік ведуть себе подібно до лінійного опору. При

збільшенні цієї напруги ширина каналу зменшується внаслідок падіння на ньому напруги і зменшенні напруженості електричного поля. Особливо сильно це виявляється в тій частині каналу, яка знаходиться поблизу стоку. Перепади напруги, створювані струмом стоку I_d , приводять до нерівномірного розподілу зміщення на затворі уздовж каналу, причому воно зменшується у міру наближення до стоку.

Важливою перевагою МДН-транзисторів у порівнянні з біполярними є мале падіння напруги на них при комутації малих сигналів. Так, якщо в біполярних транзисторах в режимі насичення напруга колектор-емітер принципово не може бути менше декількох десятих часток вольт, то для МДН-транзисторів при малих струмах стоку ця напруга при роботі транзистора в початковій області вихідної ВАХ може бути зведена до досить малої величини

У бібліотеці компонентів програми EWB МДН-транзистори з вбудованим каналом представлені двома зразками: n -канальним і p -канальним, попарно показаними на рис. 12.1, а, на якому цифрою 4 позначена підкладка, решта позначень аналогічна позначенням транзисторів з керуючим p - n -переходом. Кожен тип МДН-транзистора представлений в двох варіантах: з окремим виводом підкладки і загальним виводом підкладки і витоків. Аналогічний вигляд мають позначення МДН-транзисторів з індукованим каналом (рис. 12.1, б).

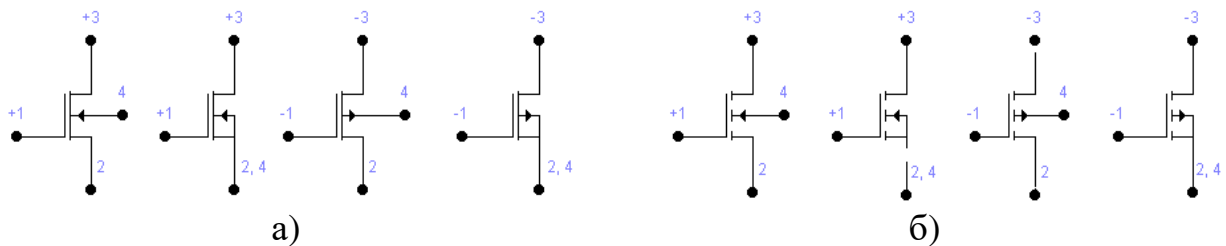


Рис. 12.1. МДН-транзистори із вбудованим (а) та індукованим (б) каналом.

Для дослідження характеристик МДН-транзисторів використовується схема на рис. 12.2. З її допомогою можна отримати сімейство вихідних характеристик МДН-транзисторів при фіксованих значеннях напруги на затворі U_g і підкладці U_b . Маючи в своєму розпорядженні такі характеристики, можна визначити крутизну транзистора S при керуванні з боку затвора, статичний коефіцієнт підсилення $M = \frac{dU_d}{dU_g}$; вихідний диференціальний опір $R_d = \frac{dU_d}{dI_d}$ та інші параметри.

Завдання

Отримайте завдання у викладача. Із допомогою схеми на рис. 12.2 зніміть сімейство вихідних характеристик МДН-транзистора із вбудованим каналом при $U_g = -5, -2, -1, 0, +1, +2, +5$ В, змінюючи напругу U_{cc} від 0 до 50 В (крок напруги U_{cc} від 0 до 10 В – 1 В, від 10 до 50 В – 5 В) і за ними визначіть S , M , R_d .

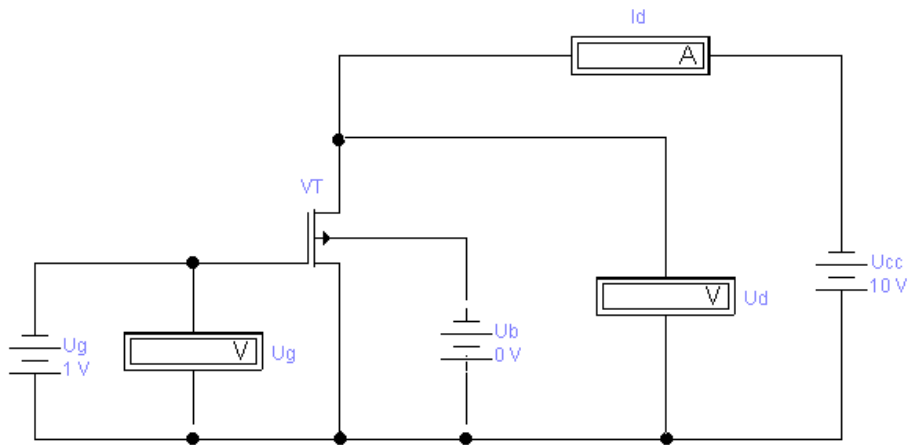


Рис. 12.2. Схема для дослідження характеристик МДН-транзисторів

Контрольні запитання

1. Назвіть відмінні ознаки МДН-транзисторів з індукованим і вбудованим каналом.
2. Яку роль відіграє підкладка в МДН-транзисторах?
3. Що таке порогова напруга і напруга відсічки?

Лабораторна робота №13

Характеристики операційного підсилювача

Мета роботи

1. Вимірювання вхідних струмів операційного підсилювача (ОП).
2. Оцінка величин середнього вхідного струму і різниці вхідних струмів ОП.
3. Вимірювання напруги зміщення ОП.
4. Вимірювання диференціального вхідного опору ОП.
5. Обчислення вихідного опору ОП.
6. Вимірювання швидкості наростання вихідної напруги ОП.

Прилади і елементи

Вольтметр, амперметр, осцилограф, функціональний генератор, джерело напруги, ОП LM741, резистори.

Короткі відомості з теорії

Інтегральний операційний підсилювач характеризується рядом параметрів, що описують цей компонент з погляду якості виконання ним своїх функцій. Серед параметрів, які зазвичай наводяться в довідкових даних, основними є наступні.

Середній вхідний струм I_{BX} . При відсутності сигналу на входах ОП через його вхідні виводи протікають струми, обумовлені базовими струмами вхідних біполярних транзисторів чи струмами втрат затворів для ОП з полевыми транзисторами на вході. Вхідні струми, проходячи через внутрішній опір джерела вхідного сигналу, створюють спади напруги на вході ОП, які можуть викликати появу напруги на виході при відсутності сигналу на вході. Компенсація цього спаду напруги утруднена тим, що струми входів реальних ОП можуть відрізнятись один від одного на 10...20 %.

Вхідні струми ОП можна оцінити за середнім вхідним струмом, який обчислюється як середнє арифметичне струмів інвертуючого та неінвертуючого входів:

$$I_{BX} = \frac{I_1 + I_2}{2},$$

де I_1 та I_2 – відповідно струми інвертуючого і неінвертуючого входів.

Різниця вхідних струмів ΔI_{BX} визначається виразом:

$$\Delta I_{BX} = I_1 - I_2.$$

В довідниках указують модуль цієї величини.

Схема для вимірювання вхідних струмів була представлена на рис. 13.1.

Коефіцієнт підсилення напруги на постійному струмі K_0 – показник ОП, який визначає наскільки добре виконує ОП основну функцію – підсилення

вхідних сигналів. В ідеального підсилювача коефіцієнт підсилення повинен прямувати до нескінченності.

Коефіцієнт підсилення напруги схеми підсилювача на ОП (рис. 13.2) обчислюється за формулою:

$$K_U = -\frac{R_2}{R_1}.$$

Напруга зміщення U_{3M} – значення напруги, яку необхідно подати на вхід ОП, щоб напруга на його виході була рівна нулю.

Напругу зсуву U_{3M} можна обчислити, знаючи вихідну напругу $\Delta U_{ВИХ}$ при відсутності напруги на вході і коефіцієнт підсилення:

$$U_{3M} = \frac{\Delta U_{ВИХ}}{K_U}.$$

Вхідний опір $R_{ВХ}$. Розрізняють дві складові вхідного опору: диференціальний вхідний опір і вхідний опір по синфазному сигналу (опір втрат між кожним входом і “землею”). Вхідний диференціальний опір для біполярних ОП знаходиться звичайно в межах 10 кОм...10 МОм. Вхідний опір по синфазному сигналу визначається як відношення приросту вхідної синфазного напруги $\Delta U_{ВХ.СФ}$ до викликаного приросту середнього вхідного струму $\Delta I_{ВХ.СР}$:

$$R_{ВХ.СФ} = \frac{\Delta U_{ВХ.СФ}}{\Delta I_{ВХ.СР}}.$$

Диференціальний вхідний опір спостерігається між входами ОП і може бути визначений за формулою:

$$R_{ВХ.ДИФ} = \frac{\Delta U_{ВХ}}{\Delta I_{ВХ}}$$

де $\Delta U_{ВХ}$ – зміна напруги між входами ОП, $\Delta I_{ВХ}$ – зміна вхідного струму.

Вихідний опір $R_{ВИХ}$ в інтегральних ОП складає 20...2000 Ом. Вихідний опір зменшує амплітуду вихідного сигналу, особливо при роботі підсилювача, на порівняний з ним опір навантаження. Схема для вимірювання диференціального вхідного опору ОП і вихідного опору наведена на рис. 13.3.

Швидкість наростання вихідної напруги $v_{U_{ВИХ}}$ рівна відношенню зміни вихідної напруги ОП до часу його наростання при подачі на вхід стрибка напруги. Час наростання визначається інтервалом часу, протягом якого вихідна напруга ОП змінюється від 10% до 90% від своїх встановлених значень.

$$v_{U_{ВИХ}} = \frac{U_{ВИХ}}{t_{ВСТ}}.$$

Схема для вимірювання швидкості наростання вихідної напруги показана на рис. 13.4. Вимірювання проводяться при подачі імпульсу у вигляді сходинки на вхід ОП, охопленого від’ємним зворотним зв’язком (ВЗЗ) із загальним коефіцієнтом підсилення від 1 до 10.

Порядок проведення експериментів

Експеримент 1. Вимірювання вхідних струмів.

Отримайте завдання у викладача. Складіть схему, подану на рис. 13.1. Включіть схему. Виміряйте вхідні струми ОП. За результатами вимірювань обчисліть середній вхідний струм I_{BX} і різницю ΔI_{BX} вхідних струмів ОП. Результати занесіть в розділ “Результати експериментів”.

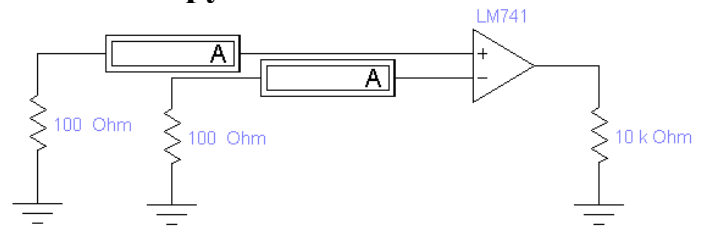


Рис. 13.1

Експеримент 2. Вимірювання напруги зміщення.

Складіть схему, подану на рис. 13.2. Включіть схему. Запишіть покази вольтметра в розділ “Результати експериментів”. За результатами вимірювання обчисліть напругу зсуву $U_{ЗМ}$, використовуючи коефіцієнт підсилення схеми на ОП. Результати обчислень також занесіть в розділ “Результати експериментів”.

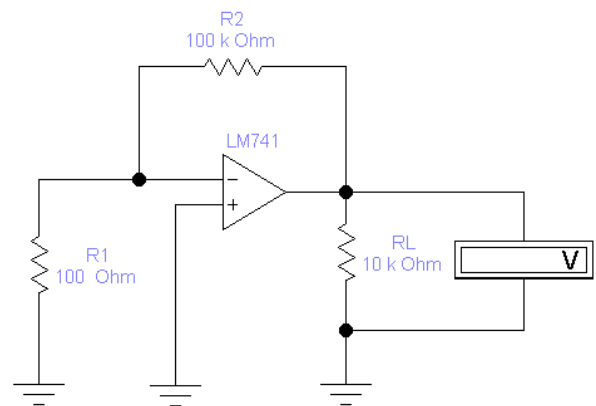


Рис. 13.2

Експеримент 3. Вимірювання вхідного і вихідного опорів.

а) Складіть схему, подану на рис. 13.3. Включіть схему. Виміряйте вхідний струм I_{BX} і вихідну напругу $U_{ВИХ}$, запишіть покази в розділ “Результати експериментів”. Перемкніть ключ клавішею [Space]. Виміряйте вхідний струм після перемикавання ключа. Розрахуйте зміни вхідної напруги і струму. За отриманими результатами обчисліть диференціальний вхідний опір ОП. Результати занесіть в розділ “Результати експериментів”.

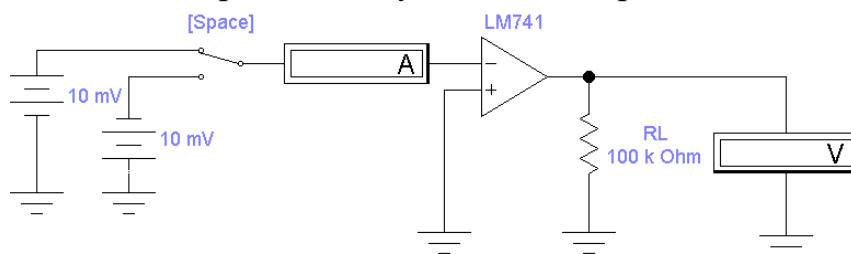


Рис. 13.3

б) Зменшуйте опір резистора навантаження R_L до тих пір, поки вихідна напруга $U_{ВИХ}$ не буде приблизно рівна половині значення, отриманого в п. а).

Запишіть значення опору R_L , яке в цьому випадку приблизно рівно вихідному опору $R_{ВНХ}$ в розділ “Результати експериментів”.

Експеримент 4. Вимірювання часу наростання вихідної напруги ОП.

Складіть схему, подану на рис. 13.4. Включіть схему. Зарисуйте осцилограму вихідної напруги в розділ “Результати експериментів”. За осцилограмою визначте величину вихідної напруги, час її встановлення і обчисліть швидкість наростання вихідної напруги у В/мкс. Запишіть результат в розділ “Результати експериментів”.

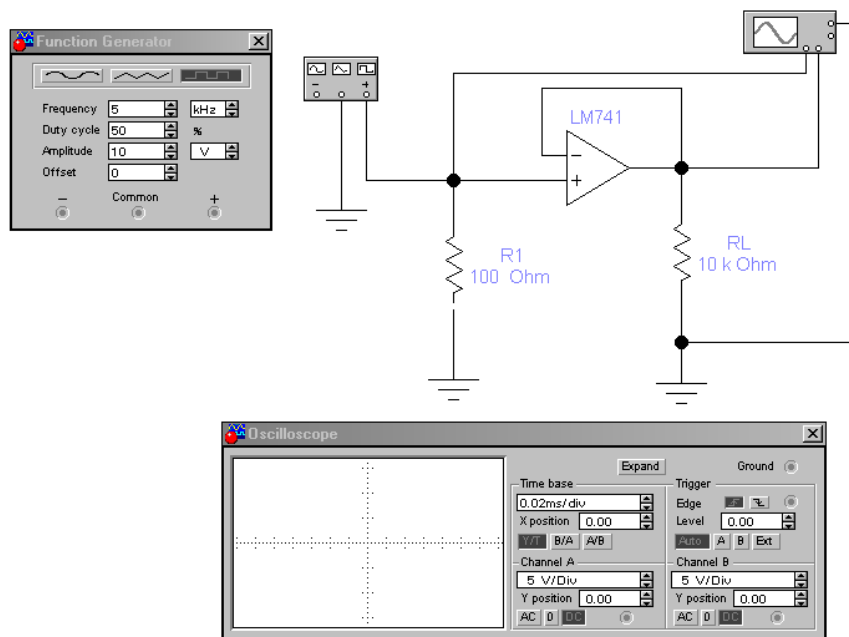


Рис. 13.4

Результати експериментів

Експеримент 1. Вимірювання вхідних струмів.

Струм I_1 неінвертуючого входу V _____

Струм I_2 інвертуючого входу V _____

Середній вхідний струм $I_{ВХ}$ P _____

Різниця вхідних струмів ОП $\Delta I_{ВХ}$ P _____

Експеримент 2. Вимірювання напруги зміщення.

Вихідна напруга підсилювача $U_{ВНХ}$ V _____

Коефіцієнт підсилення схеми P _____

Напруга зміщення $U_{ЗМ}$ P _____

Експеримент 3. Вимірювання вхідного і вихідного опорів.

а)

Вхідний струм I_{BX} (мкА) до V _____

перемикання ключа

Вхідний струм I_{BX} (мкА) після V _____

перемикання ключа

Зміна вхідної напруги P _____

Зміна вхідного струму P _____

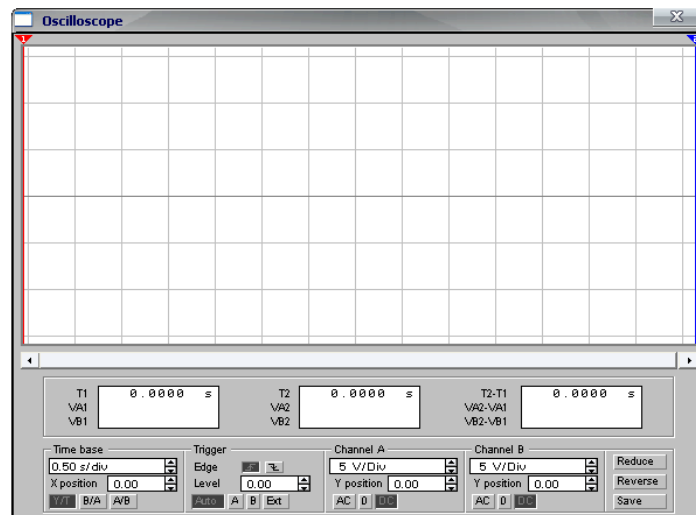
Вхідний диференціальний опір ОП (Ом) P _____

б)

Вихідна напруга $U_{ВИХ}$ (В) V _____

Вихідний опір ОП $R_{ВИХ}$ V _____

Експеримент 4. Вимірювання часу наростання вихідної напруги ОП.



Вихідна напруга $U_{ВИХ}$ V _____

Час встановлення вихідної напруги V _____

Швидкість наростання вихідної напруги V _____

Контрольні запитання

1. Чи відрізняється виміряне значення середнього вхідного струму I_{BX} від його номінального значення для ОП LM741, взятого з паспортних даних?

2. Чи істотна відмінність різниці вхідних струмів від номінального значення для ОП LM741?

3. Чи співпадають виміряне значення напруги зміщення з номінальним значенням для ОП LM741?

4. Порівняйте величину виміряного вхідного опору з паспортними даними на ОП LM741.

5. Порівняйте величину виміряного вихідного опору з паспортними даними на ОП LM741.

6. Порівняйте між собою величини вхідного і вихідного опорів ОП. Яка схема заміщення ОП як елемента електричного кола?

7. Чи відрізняється експериментальне значення швидкості наростання вихідної напруги від номінального значення?

8. В чому причина виникнення вхідних струмів ОП і різниці вхідних струмів? До чого вони приводять при роботі схем на ОП?

!!! Примітка. Паспортні дані ОП LM741:

- середній вхідний струм ОП – 0,08 мкА;
- різниця вхідних струмів ОП – 0,02 мкА;
- напруга зміщення ОП – 1 мВ;
- вхідний опір ОП – 2 МОм;
- вихідний опір ОП – 75 Ом;
- швидкість наростання вихідної напруги ОП – 0,5 мВ/мкс.

Лабораторна робота №14

Дослідження роботи неінвертуючого підсилювача

Мета роботи

1. Вимірювання коефіцієнта підсилення неінвертуючого підсилювача на ОП.
2. Визначення різниці фаз між вихідною і вхідною синусоїдальною напругою ОП.
3. Дослідження впливу коефіцієнта підсилення підсилювача на постійну складову вихідної напруги.

Прилади і елементи

Осцилограф, функціональний генератор, ОП LM741, резистори.

Короткі відомості з теорії

Коефіцієнт підсилення схеми неінвертуючого підсилювача на ОП (рис. 14.1) обчислюється за формулою:

$$K_{II} = 1 + \frac{R_1}{R_2}.$$

Постійна складова вихідної напруги підсилювача $U_{0ВИХ}$ визначається добутком напруги зміщення $U_{ЗМ}$ на коефіцієнт підсилення схеми K_{II} :

$$U_{0ВИХ} = U_{ЗМ} \cdot K_{II}.$$

Порядок проведення експериментів

Експеримент 1. Робота неінвертуючого підсилювача в режимі підсилення синусоїдальної напруги.

Отримайте завдання у викладача. Розрахуйте коефіцієнт підсилення напруги K_{II} підсилювача за заданими значеннями параметрів компонентів схеми. Включіть схему. Виміряйте амплітуди вхідної $U_{ВХ}$ і вихідної $U_{ВИХ}$ синусоїдальних напруг. Також виміряйте постійну складову вихідної напруги $U_{0ВИХ}$ і різницю фаз між вхідною і вихідною напругами. За результатами вимірювань обчисліть коефіцієнт підсилення за напругою K_{II} підсилювача. Результати занесіть в розділ “Результати експериментів”.

Використовуючи значення напруги зміщення $U_{ЗМ}$, обчислене в лабораторній роботі №13, і обчислене теоретичне значення коефіцієнта підсилення, обчисліть постійну складову вихідної напруги $U_{0ВИХ}$. Результати розрахунку також занесіть в розділ “Результати експериментів”.

Експеримент 2. Дослідження впливу параметрів схеми на режим її роботи.

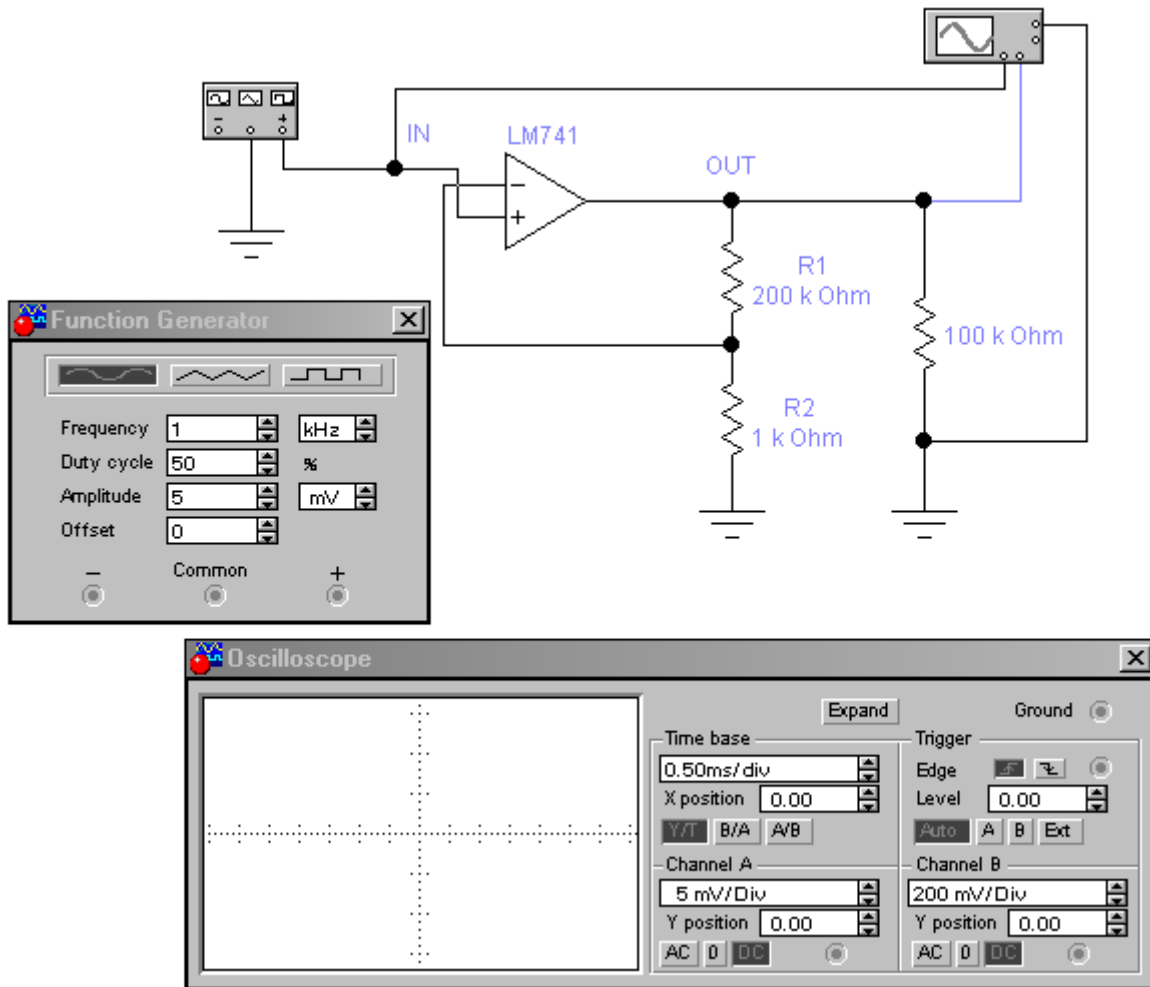


Рис. 14.1

У схемі, наведеній на рис. 14.1, зменшіть значення опору R_1 з 200 кОм до 10 кОм, амплітуду синусоїдальної напруги генератора збільшіть до 100 мВ. Встановіть масштаб напруги на вході А осцилографа 100 мВ/див, а на каналі В – 500 мВ/див. Включіть схему. Повторіть всі операції експерименту 1 при нових параметрах компонентів. Результати занесіть в розділ “Результати експериментів”.

Результати експериментів

Експеримент 1. Робота неінвертуючого підсилювача в режимі підсилення синусоїдальної напруги.

Коефіцієнт підсилення K_{II} P _____ P_B _____

Амплітуда вхідної напруги U_{BX} B _____

Амплітуда вихідної напруги $U_{ВИХ}$ P _____

Постійна складова вихідної напруги $U_{0\text{ВИХ}}$ PB _____ B _____

Різниця фаз між вхідною і вихідною напругами B _____

Експеримент 2. Дослідження впливу параметрів схеми на режим її роботи.

Коефіцієнт підсилення K_{II} P _____ PB _____

Амплітуда вхідної напруги $U_{ВХ}$ B _____

Амплітуда вихідної напруги $U_{ВИХ}$ P _____

Постійна складова вихідної напруги $U_{0\text{ВИХ}}$ PB _____ B _____

Різниця фаз між вхідною і B _____

Контрольні запитання

1. З яких умов виводиться вираз для коефіцієнта підсилення схеми на рис.14.1?

2. Яка різниця фаз між вхідним і вихідним сигналами неінвертуючого підсилювача на ОП?

3. Чи істотна відмінність в значеннях вимірної і обчисленої постійної складової вихідної напруги схеми на рис. 14.1?

4. Чим визначається постійна складова вихідної напруги схеми на рис. 14.1?

5. Із допомогою якого пристрою Electronics Workbench можна експериментально виміряти коефіцієнт підсилення схеми на ОП?

Лабораторна робота №15

Дослідження роботи інвертуючого підсилювача

Мета роботи

1. Вимірювання коефіцієнта підсилення інвертуючого підсилювача на ОП.
2. Визначення різниці фаз між вихідною і вхідною синусоїдальною напругою ОП.
3. Дослідження впливу коефіцієнта підсилення схеми на постійну складову вихідної напруги.

Прилади і елементи

Осцилограф, функціональний генератор, ОП LM741, резистори.

Короткі відомості з теорії

Коефіцієнт підсилення інвертуючого підсилювача на ОП з оборотнім зв'язком (рис. 15.1) обчислюється за формулою:

$$K_{\Pi} = -\frac{R_f}{R_1}.$$

Знак “мінус” у формулі означає, що вихідна напруга інвертуючого підсилювача знаходиться в протифазі з вхідною напругою.

Постійна складова вихідної напруги $U_{0\text{ВИХ}}$ підсилювача залежить від коефіцієнта підсилення K_{Π} схеми і напруги зміщення $U_{3\text{М}}$ та обчислюється за формулою:

$$U_{0\text{ВИХ}} = U_{3\text{М}} \cdot K_{\Pi}.$$

Порядок проведення експериментів

Експеримент 1. Робота підсилювача в режимі підсилення синусоїдальної напруги.

Отримайте завдання у викладача. Складіть схему, подану на рис. 15.1. Розрахуйте коефіцієнт підсилення напруги K_{Π} підсилювача за значеннями параметрів компонентів схеми. Включіть схему. Виміряйте амплітуду вхідної $U_{\text{ВХ}}$ і вихідної $U_{\text{ВИХ}}$ синусоїдальної напруг, постійну складову вихідної напруги $U_{0\text{ВИХ}}$ і різницю фаз між вхідною і вихідною напругою. За результатами вимірювань обчисліть коефіцієнт підсилення за напругою K_{Π} підсилювача. Результати занесіть в розділ “Результати експериментів”.

Використовуючи значення вхідної напруги зміщення $U_{3\text{М}}$, обчислене в лабораторній роботі № 13, і знайдене значення коефіцієнта підсилення,

обчисліть постійну складову вихідної напруги $U_{0\text{ВИХ}}$. Результати розрахунку також занесіть в розділ “Результати експериментів”.

Експеримент 2. Дослідження впливу параметрів схеми на режим її роботи.

У схемі, наведеній на рис. 15.1, встановіть значення опору R_1 10 кОм, амплітуду синусоїдальної напруги генератора – 100 мВ. Встановіть масштаб напруги на вході А осцилографа 100 мВ/див. Включіть схему. Для нових параметрів схеми повторіть всі вимірювання і розрахунки експерименту 1. Результати занесіть в розділ “Результати експериментів”.

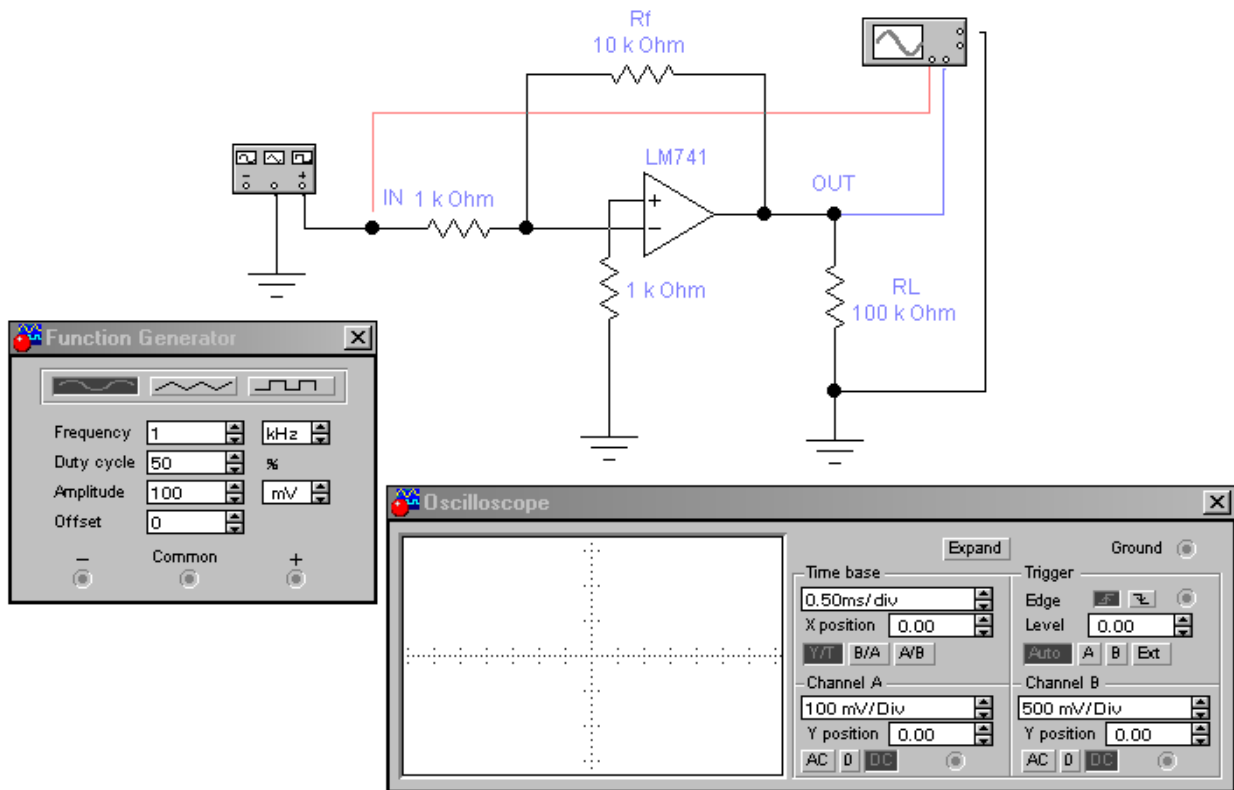


Рис. 15.1

Результати експериментів

Експеримент 1. Робота підсилювача в режимі підсилення синусоїдальної напруги.

Коефіцієнт підсилення K_{Π} P _____ $PВ$ _____

Амплітуда вхідної напруги $U_{ВХ}$ B _____

Амплітуда вихідної напруги $U_{ВИХ}$ P _____

Постійна складова вихідної напруги $U_{0\text{ВИХ}}$ $PВ$ _____ B _____

Різниця фаз між вхідною і вихідною напругами B _____

Експеримент 2. Дослідження впливу параметрів схеми на режим її роботи.

Коефіцієнт підсилення K_{Π} P _____ PB _____
Амплітуда вхідної напруги U_{BX} B _____
Амплітуда вихідної напруги $U_{ВИХ}$ P _____
Постійна складова вихідної напруги $U_{0ВИХ}$ PB _____ B _____
Різниця фаз між вхідною і B _____

Контрольні запитання

1. Як розрахувати коефіцієнт підсилення схеми на рис. 15.1?
2. Як виміряти різницю фаз між вхідною і вихідною напругою в схемі на рис. 15.1?
3. Оцініть відмінності між виміряною і обчисленою постійною складовою вихідної напруги?
4. Скільки відсотків від амплітуди вихідної напруги, виміряної в експерименті 1, складає постійна складова у вихідній напрузі?
5. Які параметри схеми на рис. 15.1 впливають на її коефіцієнт підсилення?
6. Як впливає коефіцієнт підсилення схеми рис. 15.1 на постійну складову вихідної напруги?

Лабораторна робота №16

Компаратори

Мета роботи

1. Дослідження схем детекторів нульового рівня.
2. Дослідження схем детекторів ненульового рівня.

Прилади і елементи

Вольтметр, амперметр, осцилограф, функціональний генератор, джерело постійної ЕРС, операційні підсилювачі (ОП), діоди, стабілітрон 1N4733, резистори.

Короткі відомості з теорії

Функціональне призначення компаратора полягає в зміні стану виходу при переході вхідною напругою деякого порогового значення. В якості компаратора може застосовуватися ОП. При цьому ОП працює переважно в області додатного чи від'ємного обмеження вихідної напруги, проходячи область підсилювального режиму тільки поблизу порогу. В даному розділі досліджуються основні схеми компараторів, побудованих на базі операційних підсилювачів.

На рис. 16.1 і 16.2 наведені схеми і види характеристик детекторів нульового рівня, що мають близьку до нуля порогову напругу. Схеми розрізняються способом подачі вхідного сигналу на вхід ОП. Використання різних входів ОП для подачі вхідного сигналу дозволяє реалізувати фіксацію рівня вхідної напруги позитивним або негативним перепадом напруги на виході компаратора.

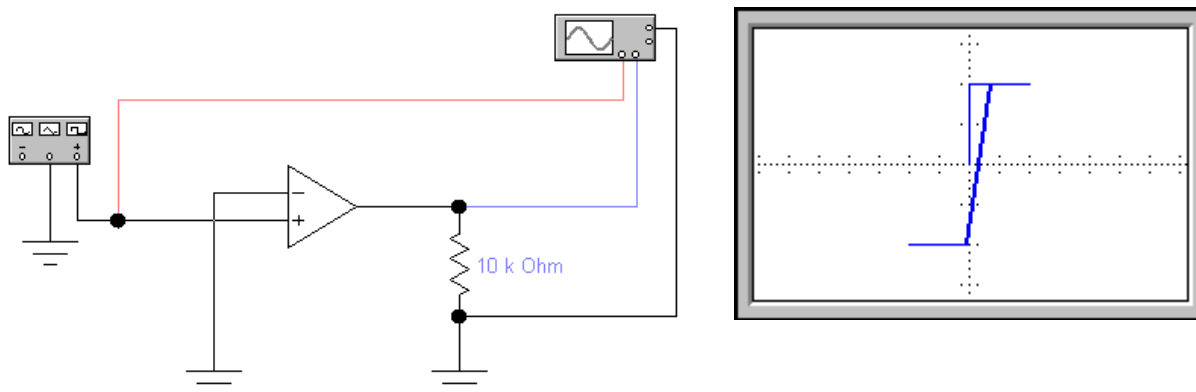


Рис. 16.1

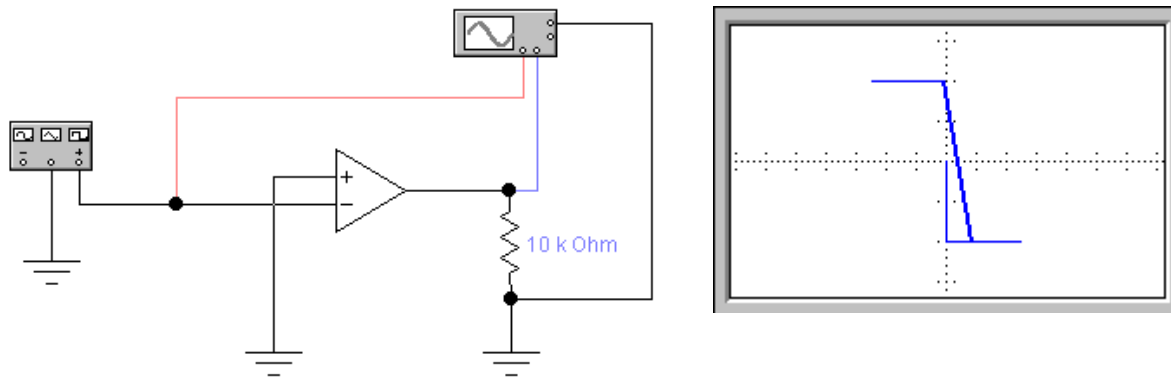


Рис. 16.2

На рисунках наводиться вид характеристики “вихід-вхід”. По вертикальній осі відкладається вихідна напруга, по горизонтальній осі – вхідна. Нахил характеристик викликаний кінцевою швидкістю наростання вихідної напруги.

На рис. 16.3 і 16.4 наведені схеми і види характеристик детекторів позитивного і від’ємного рівнів вхідної напруги. Пороговий рівень вхідної напруги в цих схемах задається величиною напруги зміщення, яка подається на інвертуючий вхід ОП. Напруга зсуву може задаватися стабілітроном, як показано на рис. 16.5.

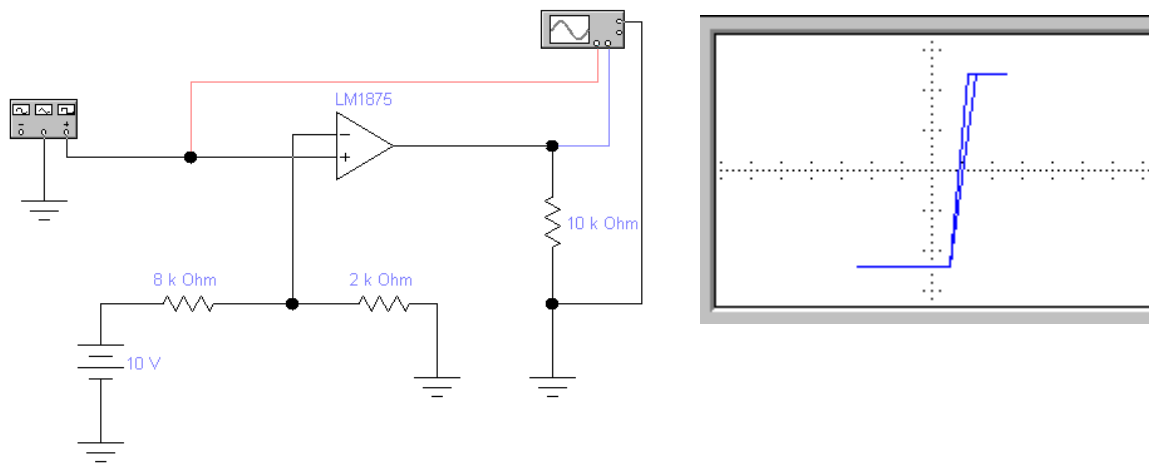


Рис. 16.3

Максимальне і мінімальне значення вихідної напруги може задаватися за допомогою зовнішніх елементів. На рис. 16.6 наведена схема детектора нульової напруги з фіксацією рівня вихідної напруги за допомогою стабілітрона.

Компаратор, показаний на рис. 16.7, дозволяє фіксувати наявність вхідної напруги у визначеному діапазоні значень. Якщо вхідна напруга змінюється в межах порогових значень, які встановлюються зовнішніми елементами, то вихідна напруга має низький рівень. При виході за встановленні межі порогових значень вихідна напруга змінюється на високий рівень.

При роботі з компараторами можуть виникати неприємності, які проявляються в тому, що замість однократної зміни рівня вихідної напруги при

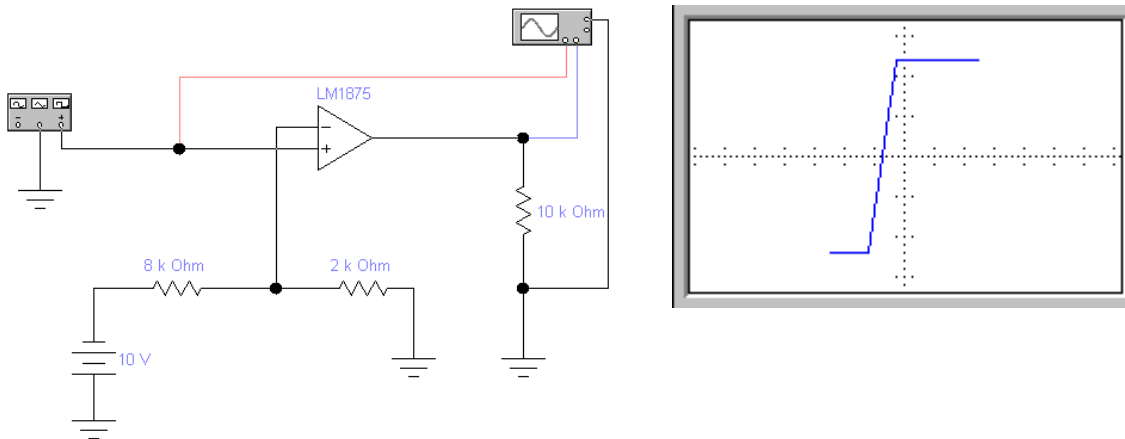


Рис. 16.4

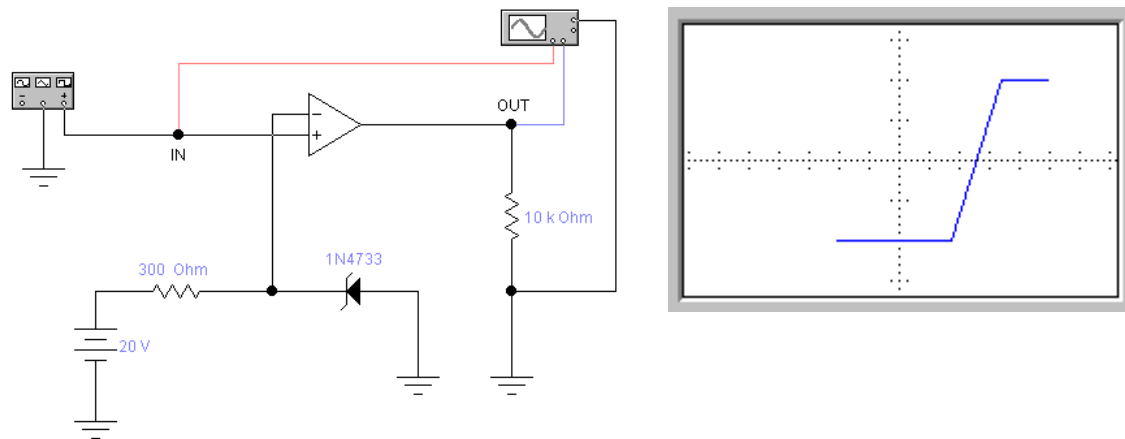


Рис. 16.5

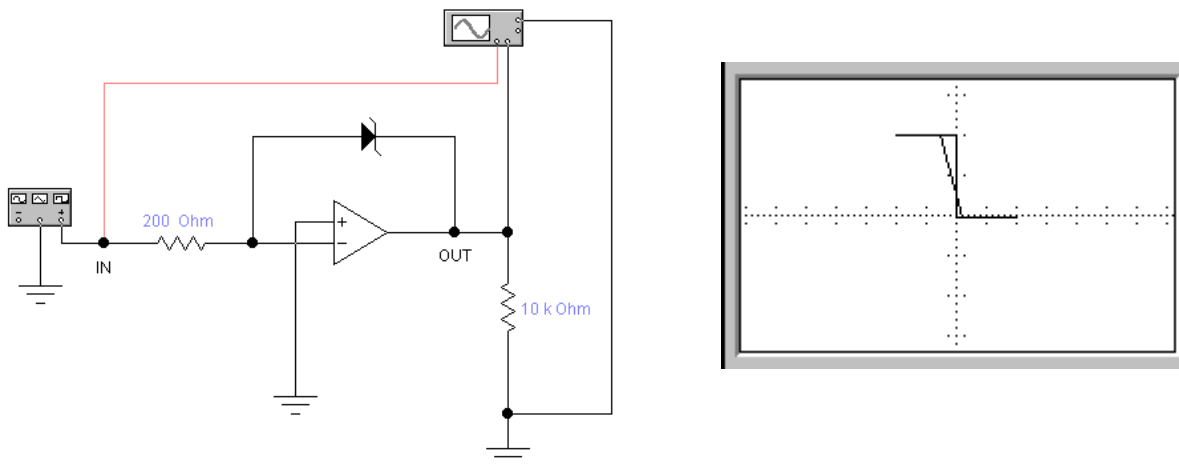


Рис. 16.6

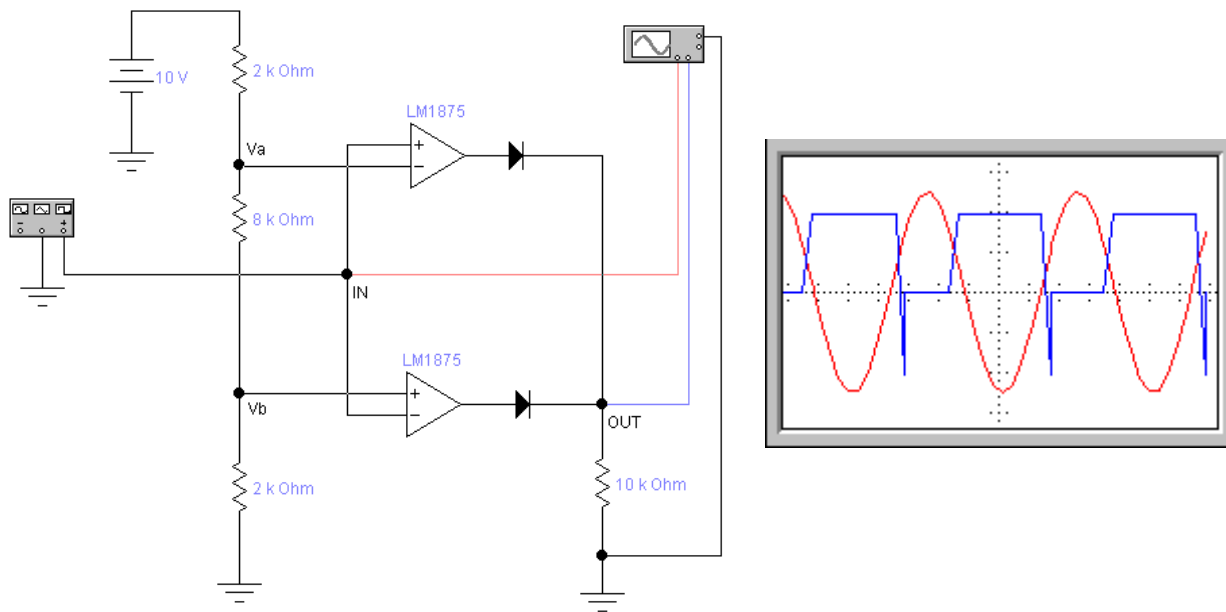


Рис. 16.7

досягненні вхідною напругою порогового значення, можуть мати місце швидкі коливання між рівнями вихідної напруги, особливо в тому випадку, коли у вхідному сигналі наявний значний шум. При такому явищі може порушитися нормальне функціонування деяких типів схем. Цього можна уникнути, якщо характеристика компаратора має гістерезис. Однією із схем такого роду є тригер Шмітта. Схема та її характеристика представлена рис. 16.8. Для ідеального ОП, який має однакові напруги обмеження, додатне значення вхідної порогової напруги може бути розраховане за формулою:

$$U_1 = \frac{E \cdot R_2}{R_1 + R_2}.$$

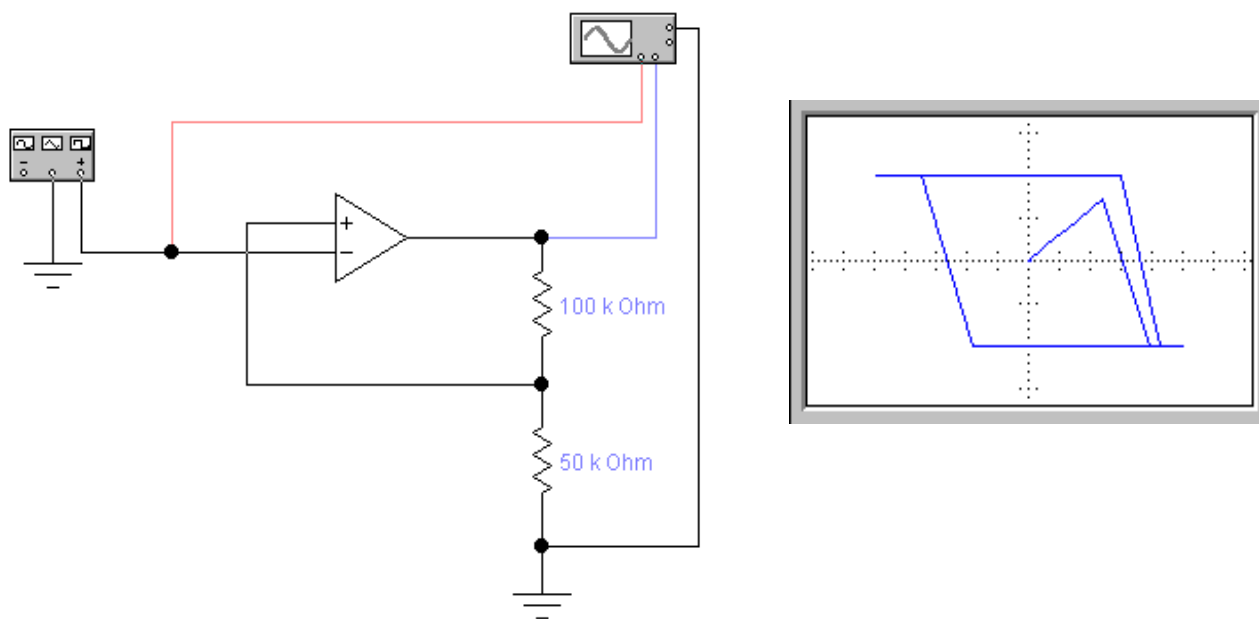


Рис. 16.8

Від’ємне значення вхідної порогової напруги визначається виразом:

$$U_2 = -\frac{E \cdot R_2}{R_1 + R_2} = -U_1,$$

де E – напруга обмеження ОП.

Для всіх розглянутих схем аналіз їх роботи можна здійснити за двома характеристиками. Перша з них є характеристикою вхід-вихід і встановлює співвідношення між вхідною і вихідною напругою схеми в статичному режимі. Для спостереження такої характеристики на екрані осцилографа необхідно сигнал з каналу, підключеного до виходу схеми, відкласти по вертикальній осі, а сигнал з каналу, підключеного до входу схеми, – по горизонтальній осі, на вхід схеми подається синусоїдальна напруга.

Динаміку перемикання вихідної напруги схеми можна прослідкувати за осцилограмами вхідної і вихідної напруги. При знятті цієї характеристики на вхід схеми подається синусоїдальна напруга і двохпроменевим осцилографом фіксується вхідна і вихідна напруга.

Порядок проведення експериментів

Отримайте завдання у викладача.

Експеримент 1. Дослідження характеристик детектора нульового рівня з подачею сигналу на неінвертуючий вхід ОП.

а) Характеристика вихід-вхід. Складіть схему, зображену на рис. 16.9. Включіть схему. В отриманій на екрані характеристиці відхилення променя по осі X (канал В) визначається вихідною напругою $U_{\text{вих}}$, а по осі Y (канал А) – вхідною напругою $U_{\text{вх}}$. Зарисуйте характеристику вихід-вхід в розділ “Результати експериментів” і за характеристикою визначте порогову напругу.

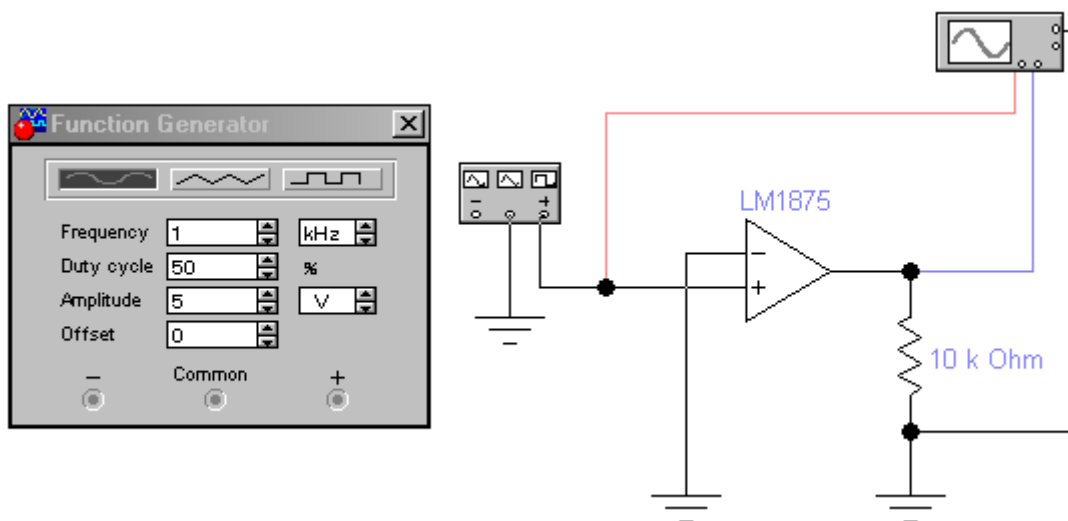


Рис. 16.9

б) Осцилограми вхідної і вихідної напруг. Переведіть осцилограф в режим Y/T, встановіть масштаб напруги на вході А 2 V/div. Включіть схему. Зарисуйте отримані осцилограми вхідної $U_{\text{вх}}$ і вихідної $U_{\text{вих}}$ напруг в розділі “Результати експериментів”. Визначте порогове значення вхідної напруги $U_{\text{вх}}$ і

порівняйте його із значенням, визначеним у попередньому пункті. Значення порогової напруги запишіть в розділ “Результати експериментів”.

Експеримент 2. Дослідження характеристик детектора нульового рівня з подачею сигналу на інвертуючий вхід ОП.

а) Характеристика вихід-вхід. Складіть схему, зображену на рис. 16.10. Включіть схему. Зарисуйте характеристику вихід-вхід в розділі “Результати експериментів” і за характеристикою визначте порогову напругу.

б) Осцилограми вхідної і вихідної напруг. Переведіть осцилограф в режим Y/T, встановіть масштаб напруги на вході А 2 V/div. Включіть схему. Зарисуйте отримані осцилограми вхідної $U_{вх}$ і вихідної $U_{вих}$ напруг в розділі “Результати експериментів”. Визначте порогове значення вхідної напруги $U_{вх}$ і порівняйте його із значенням, визначеним у попередньому пункті. Значення порогової напруги запишіть в розділ “Результати експериментів”.

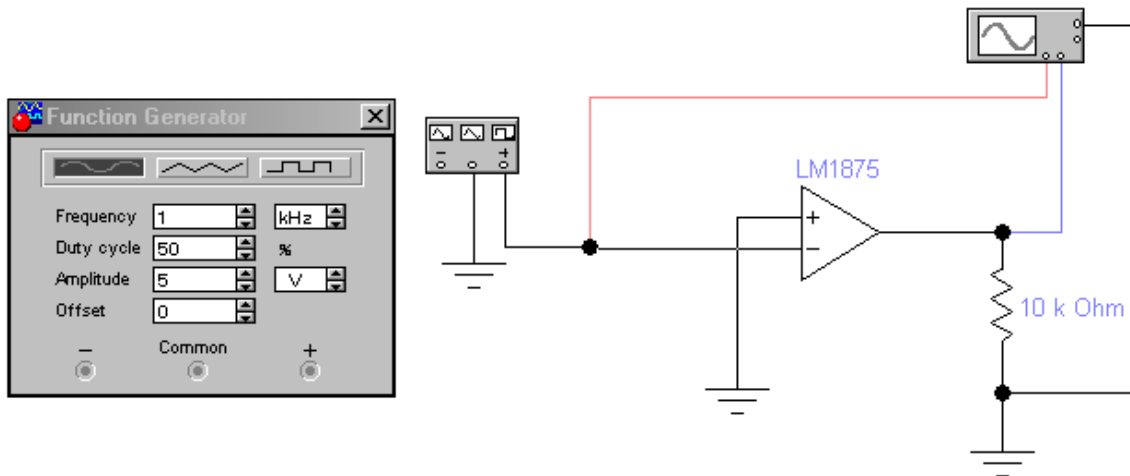


Рис. 16.10

Експеримент 3. Дослідження характеристик компаратора з додатною опорною напругою.

а) Характеристика вихід-вхід. Складіть схему, зображену на рис. 16.11.

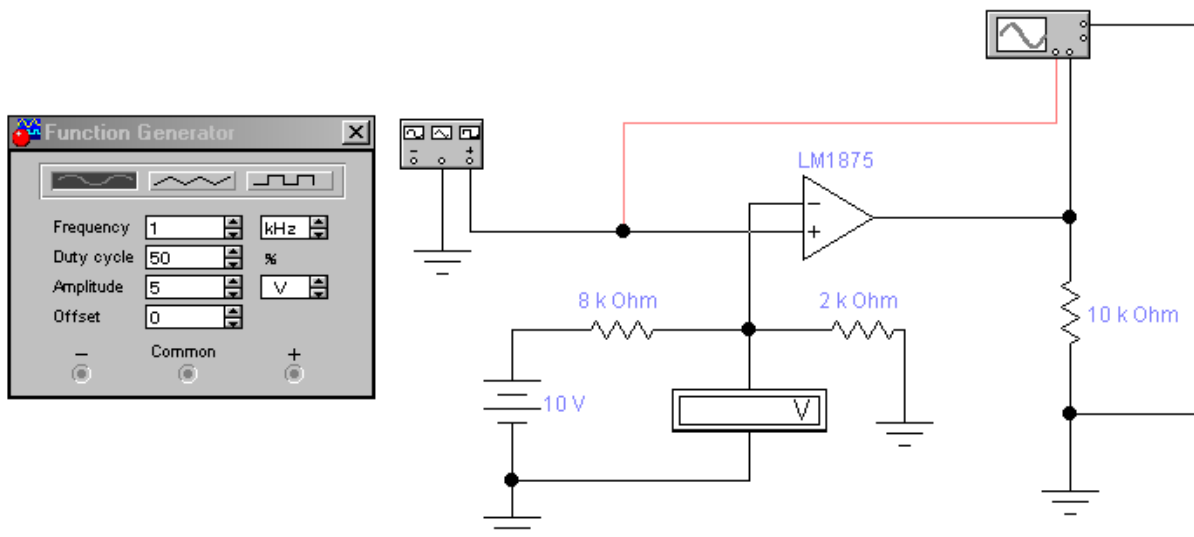


Рис. 16.11

Включіть схему. Зарисуйте характеристику вихід-вхід в розділі “Результати експериментів” і за характеристикою визначте порогову напругу.

б) *Осцилограми вхідної і вихідної напруг.* Переведіть осцилограф в режим Y/T, встановіть масштаб напруги на вході А 2 V/div. Включіть схему. Зарисуйте отримані осцилограми вхідної $U_{вх}$ і вихідної $U_{вих}$ напруг в розділі “Результати експериментів”. Визначте порогове значення вхідної напруги $U_{вх}$ і порівняйте його із значенням, визначеним у попередньому пункті. Значення порогової напруги запишіть в розділ “Результати експериментів”.

Експеримент 4. Дослідження характеристик компаратора з від’ємною опорною напругою.

а) *Характеристика вихід-вхід.* Складіть схему, зображену на рис. 16.12. Включіть схему. Зарисуйте характеристику вихід-вхід в розділі “Результати експериментів” і за характеристикою визначте порогову напругу.

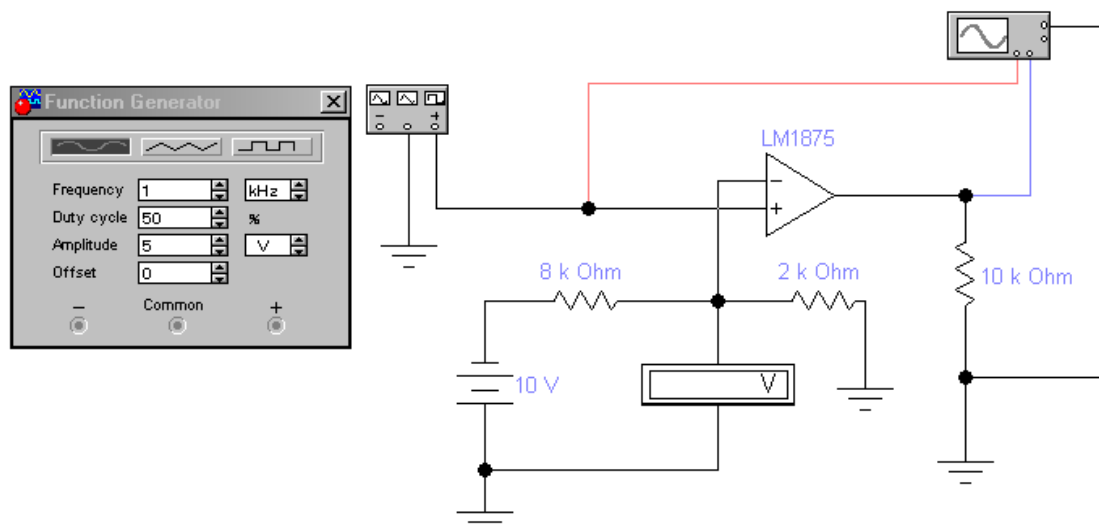


Рис. 16.12

б) *Осцилограми вхідної і вихідної напруг.* Переведіть осцилограф в режим Y/T, встановіть масштаб напруги на вході А 2 V/div. Включіть схему. Зарисуйте отримані осцилограми вхідної $U_{вх}$ і вихідної $U_{вих}$ напруг в розділі “Результати експериментів”. Визначте порогове значення вхідної напруги $U_{вх}$ і порівняйте його із значенням, визначеним у попередньому пункті. Значення порогової напруги запишіть в розділ “Результати експериментів”.

Експеримент 5. Дослідження характеристик компаратора з від’ємною опорною напругою.

а) *Характеристика вихід-вхід.* Складіть схему, зображену на рис. 16.13. Включіть схему. Зарисуйте характеристику вихід-вхід в розділі “Результати експериментів” і за характеристикою визначте порогову напругу.

б) *Осцилограми вхідної і вихідної напруг.* Переведіть осцилограф в режим Y/T, встановіть масштаб напруги на вході А 2 V/div. Включіть схему. Зарисуйте отримані осцилограми вхідної $U_{вх}$ і вихідної $U_{вих}$ напруг в розділі “Результати експериментів”. Визначте порогове значення вхідної напруги $U_{вх}$ і порівняйте його із значенням, визначеним у попередньому пункті. Значення порогової напруги запишіть в розділ “Результати експериментів”.

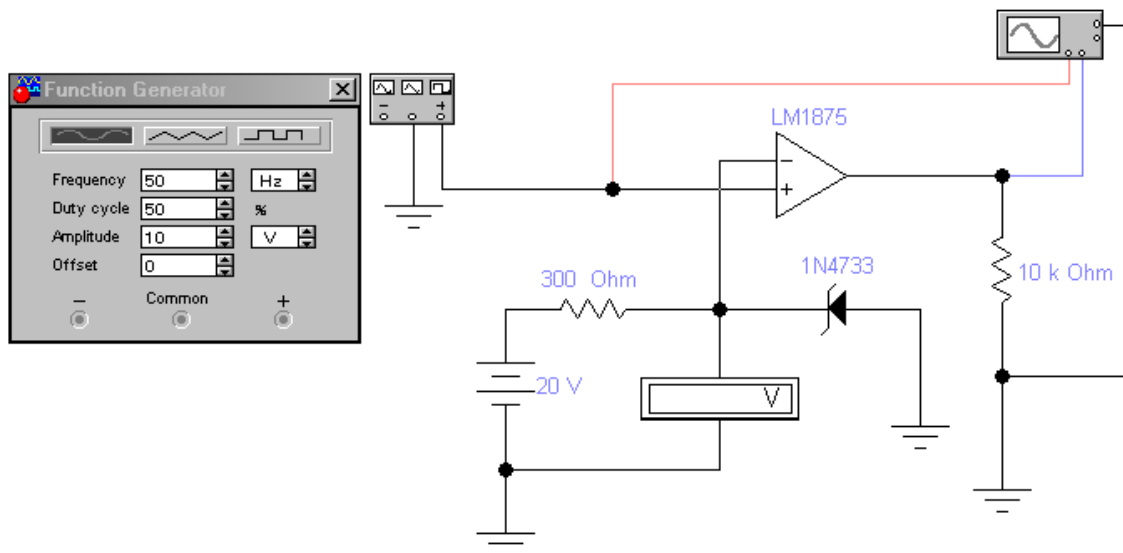


Рис. 16.13

Експеримент 6. Дослідження характеристик компаратора з фіксацією вихідної напруги.

а) Осцилограми вхідної і вихідної напруг. Складіть схему, зображену на рис. 16.14. Включіть схему. Зарисуйте отримані осцилограми вхідної $U_{\text{вх}}$ і вихідної $U_{\text{вих}}$ напруг в розділі “Результати експериментів”. За осцилограмами визначте рівні вихідної напруги і порогову напругу.

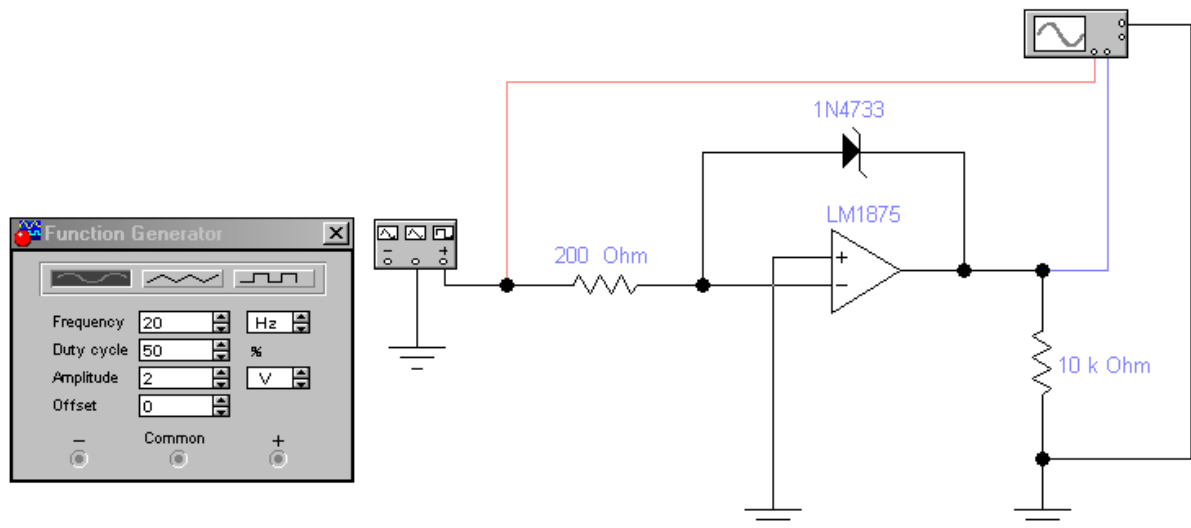


Рис. 16.14

б) Осцилограми вхідної і вихідної напруг при оборотному включенні стабілітрона. У схемі на рис. 16.14 змініть напрям увімкнення стабілітрона на зворотний. Включіть схему. Повторіть операції пункту *а)* і занесіть результати в розділ “Результати експериментів”.

Експеримент 7. Дослідження характеристик компаратора з фіксованою зоною входної напруги.

а) Осцилограми входної і вихідної напруг. Складіть схему, зображену на рис. 16.15. Включіть схему. Зарисуйте отримані осцилограми входної $U_{\text{ВХ}}$ і вихідної $U_{\text{ВИХ}}$ напруг в розділі “Результати експериментів”. Визначіть порогові напруги $U_{\text{нижн}}$ і $U_{\text{верх}}$.

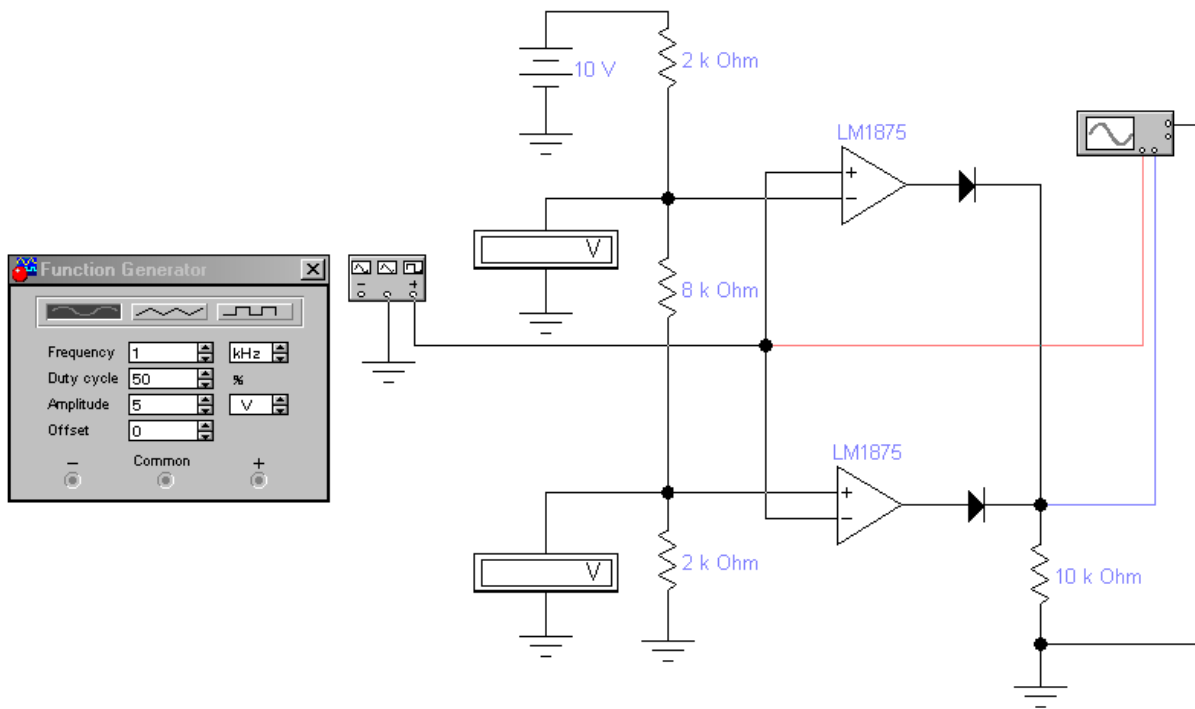


Рис. 16.15

Експеримент 8. Дослідження характеристик тригера Шмітта.

а) Характеристика вихід-вхід. Складіть схему, зображену на рис. 16.16.

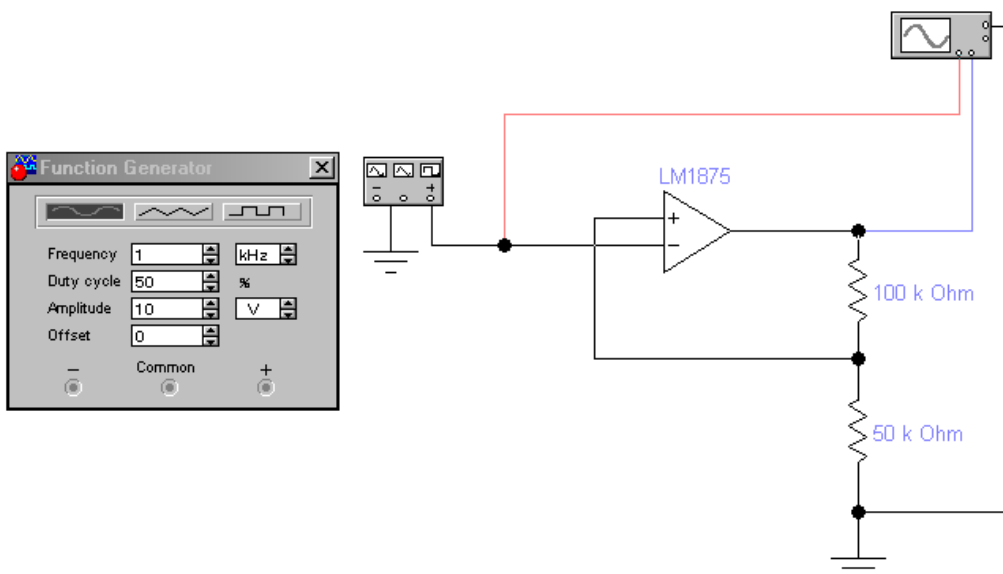
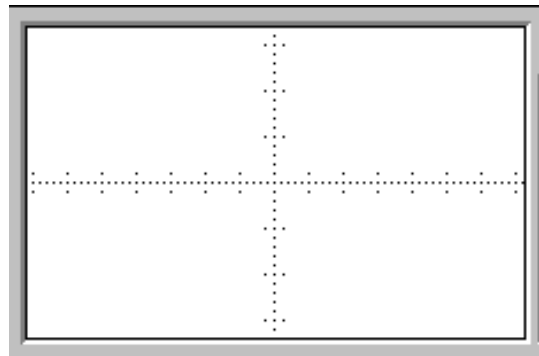
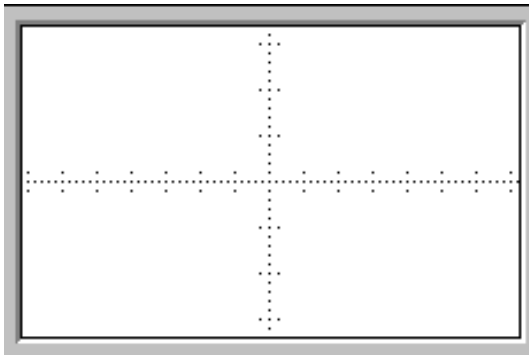


Рис. 16.16

Включіть схему. Зарисуйте характеристику вихід-вхід в розділі “Результати експериментів” і за характеристикою визначте верхнє і нижнє значення порогової напруги.



б) Осцилограми вхідної і вихідної напруг. Переведіть осцилограф в режим Y/T, встановіть масштаб напруги на вході А 2 V/div. Включіть схему. Зарисуйте отримані осцилограми вхідної $U_{вх}$ і вихідної $U_{вих}$ напруг в розділі “Результати експериментів”. За осцилограмами визначте значення порогових напруг і порівняйте їх із значеннями, визначеними у попередньому пункті. Значення порогових напруг запишіть в розділ “Результати експериментів”.

Результати експериментів

Експеримент 1. Дослідження характеристик детектора нульового рівня з подачею сигналу на неінвертуючий вхід ОП.

а) Характеристика вихід-вхід

Порогова напруга $U_{п}$, В

б) Осцилограми

В _____

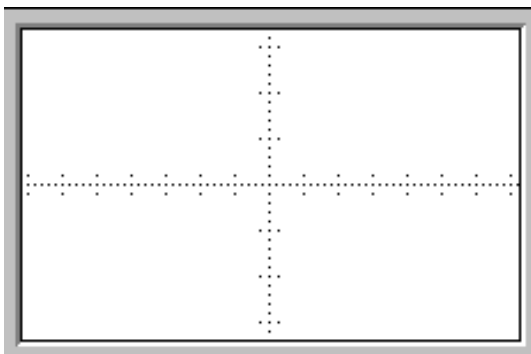
Експеримент 2. Дослідження характеристик детектора нульового рівня з подачею сигналу на інвертуючий вхід ОП.

а) Характеристика вихід-вхід

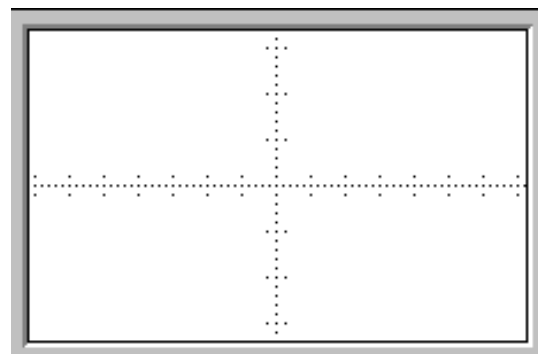
Порогова напруга $U_{п}$, В

б) Осцилограми

В _____



Порогова напруга $U_{п}$, В

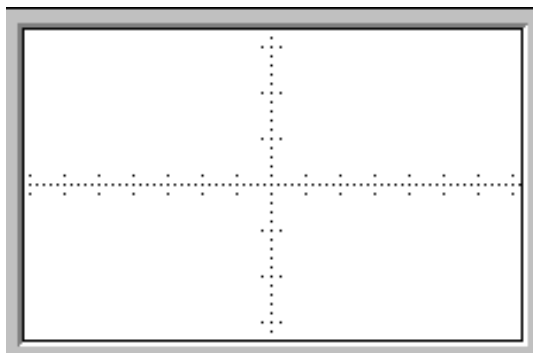


В _____

Експеримент 3. Дослідження характеристик компаратора з додатною опорною напругою.

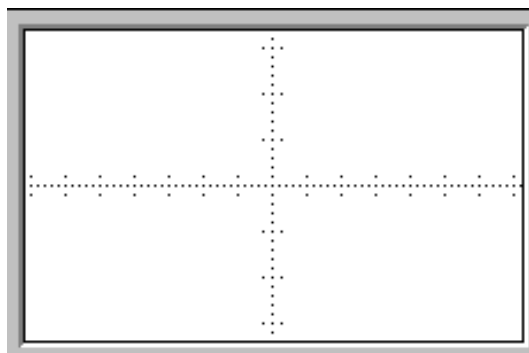
а) Характеристика вихід-вхід

Порогова напруга $U_{П}$, В



б) Осцилограми

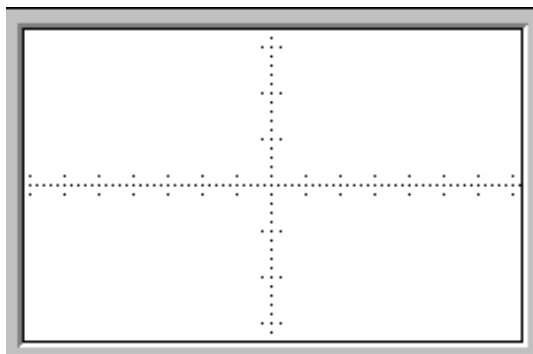
В _____



Експеримент 4. Дослідження характеристик компаратора з від'ємною опорною напругою.

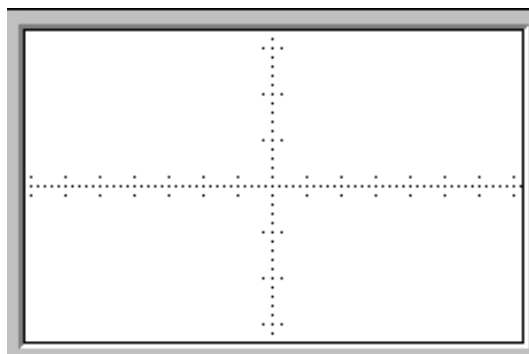
а) Характеристика вихід-вхід

Порогова напруга $U_{П}$, В



б) Осцилограми

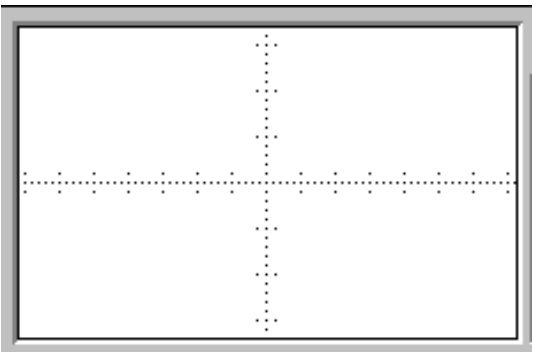
В _____



Експеримент 5. Дослідження характеристик компаратора з від'ємною опорною напругою.

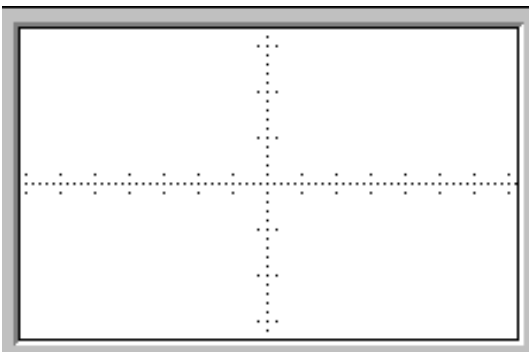
а) Характеристика вихід-вхід

Порогова напруга $U_{П}$, В



б) Осцилограми

В _____



Порогова напруга $U_{П}$, В

В _____

Експеримент 6. Дослідження характеристик компаратора з фіксацією вихідної напруги.

а) При прямому увімкненні стабілітрона

Рівні вихідної напруги, В

В _____

Порогова напруга $U_{п}$, В

В _____

В _____

б) При зворотному увімкненні стабілітрона

Рівні вихідної напруги, В

В _____

Порогова напруга $U_{п}$, В

В _____

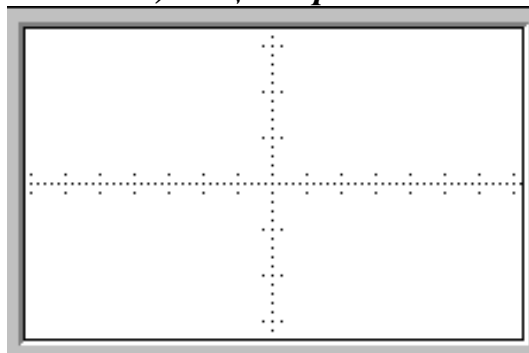
В _____

а) Осцилограми при прямому увімкненні стабілітрона

б) Осцилограми при зворотному увімкненні стабілітрона

Експеримент 7. Дослідження характеристик компаратора з фіксованою зоною вхідної напруги.

а) Осцилограми



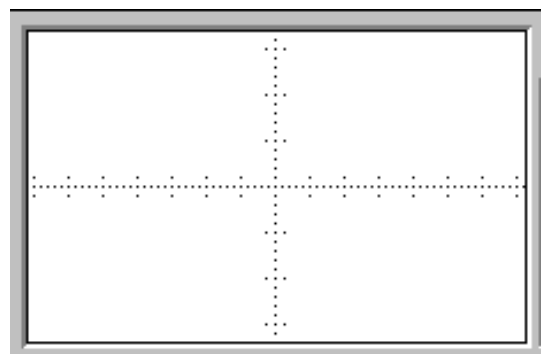
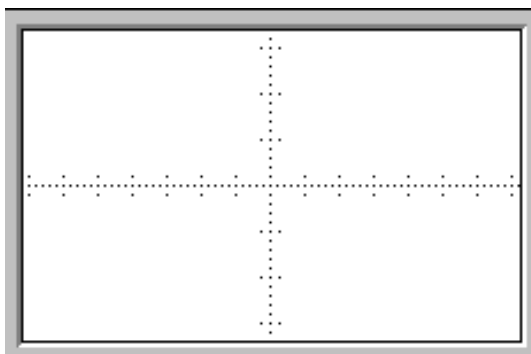
Верхній рівень порогової напруги $U_{верх}$, В

В _____

Нижній рівень порогової напруги $U_{нижн}$, В

В _____

Експеримент 8. Дослідження характеристик тригера Шмітта.



Верхній рівень

порогової напруги і $U_{верх}$, В P _____

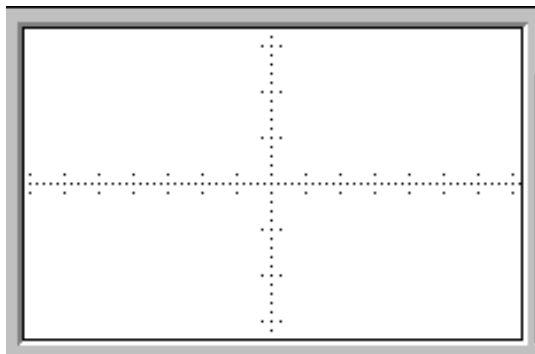
В _____

Нижній рівень

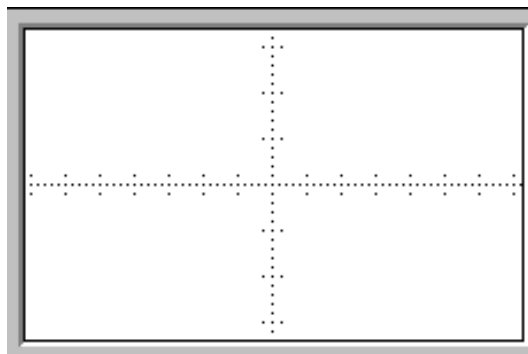
порогової напруги і $U_{нижн}$, В P _____

В _____

а) Характеристика вихід-вхід



б) Осцилограми



Контрольні запитання

1. Які особливості застосування ОП в схемах компараторів?
2. Перерахуйте способи побудови схем детекторів додатного рівня вхідної напруги?
3. Чим відрізняється точність задання порогів вхідної напруги в схемах детекторів рівня на основі ОП?
4. На чому базується робота компаратора з фіксованою зоною вхідної напруги?
5. Чи можна в компараторі на основі тригера Шмітта зробити рівні порогів вхідної напруги різними? Якщо так, то яким чином?

Лабораторна робота №17

Додавання напруг у схемах на операційному підсилювачі

Мета роботи

1. Аналіз роботи схеми сумуючого підсилювача для додавання напруг.
2. Дослідження додавання двох постійних вхідних напруг.
3. Дослідження додавання постійної і змінної вхідної напруг.
4. Дослідження додавання двох змінних вхідних напруг.

Прилади і елементи

Вольтметр, амперметр, осцилограф, функціональний генератор, джерело постійної ЕРС, операційний підсилювач LM741, діоди, резистори.

Короткі відомості з теорії

У підсилювачі, показаному на рис. 17.1, нехтуючи вхідними струмами і напругою зміщення, виконуються наступні співвідношення:

$$I_1 = \frac{U_1}{R_1}, \quad I_2 = \frac{U_2}{R_2},$$
$$I = I_1 + I_2,$$
$$I_{33} = I_1 + I_2 = -\frac{U_{ВИХ}}{R_{33}}.$$

Із отриманих співвідношень можна отримати наступні вирази для вихідної напруги:

$$U_{ВИХ} = -(I_1 + I_2)R_{33} = -\left(\frac{U_1}{R_1} + \frac{U_2}{R_2}\right)R_{33} = -\frac{R_{33}}{R}(U_1 + U_2).$$

Останній вираз справедливий при $R = R_1 = R_2$.

Порядок проведення експериментів

Експеримент 1. Додавання постійних напруг.

а) Отримайте завдання у викладача. Складіть схему, зображену на рис. 17.1. Включіть схему. Запишіть покази пристроїв в розділ “Результати експериментів”.

б) По заданим номіналам елементів схеми розрахуйте значення струмів I_1 , I_2 , I_{33} , та, використовуючи значення напруг U_1 та U_2 , обчисліть вихідну напругу $U_{ВИХ}$. Результати запишіть в розділ “Результати експериментів”.

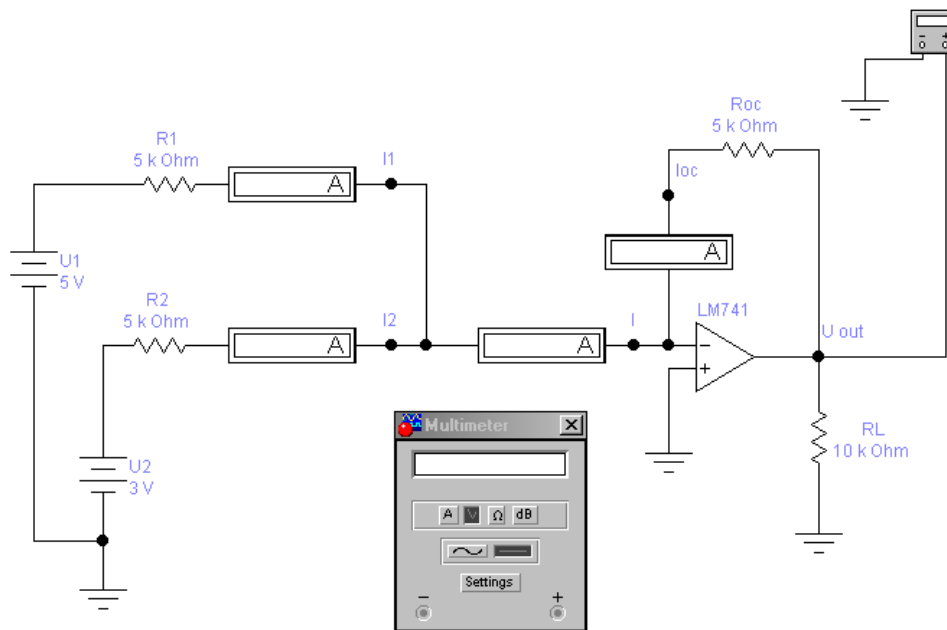


Рис. 17.1. Підсилювач додавання

Експеримент 2. Додавання постійної і змінної напруг.

а) Складіть схему, зображену на рис. 17.2. Включіть схему. Зарисуйте осцилограми вхідної і вихідної напруги в розділі “Результати експериментів”. Виміряйте постійну складову та амплітуду вихідної напруги $U_{ВИХ}$. Розрахуйте постійну складову та амплітуду вихідної напруги $U_{ВИХ}$, використовуючи

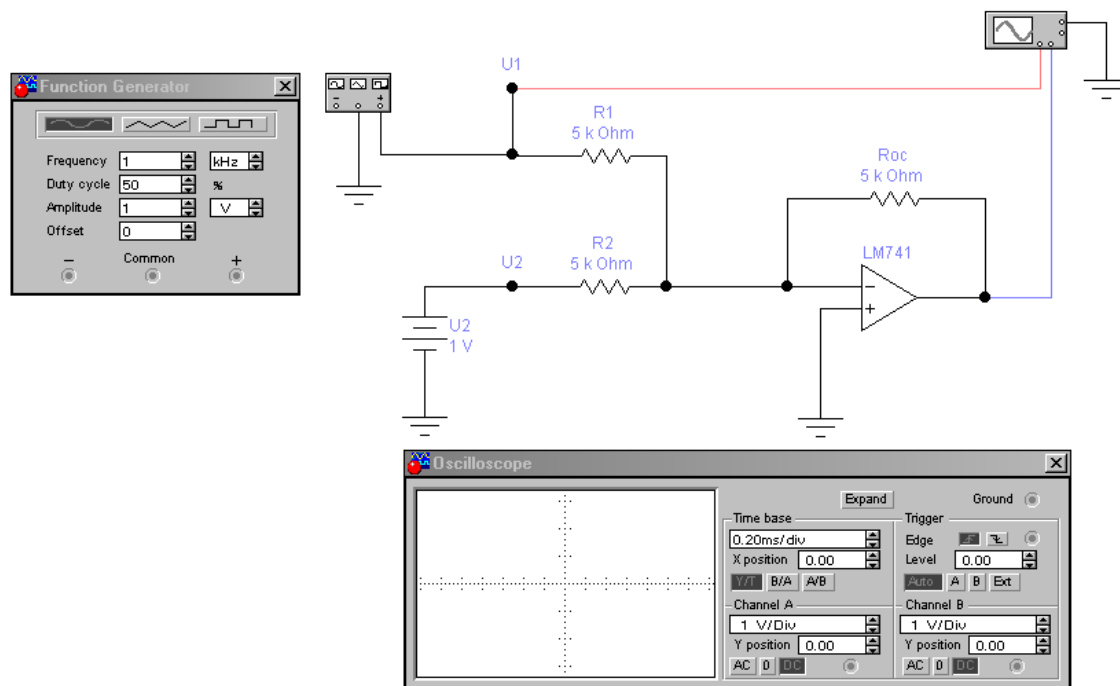


Рис. 17.2. Схема дослідження додавання постійної і змінної напруг

значення напруг U_1 та U_2 . Результати запишіть в розділ “Результати експериментів”.

б) Встановіть значення опору R_2 рівним 2,5 кОм. Включіть схему. Значення порогової напруги запишіть в розділ “Результати експериментів”. Зарисуйте осцилограми вхідної і вихідної напруги в розділі “Результати експериментів”. Виміряйте постійну складову та амплітуду вихідної напруги $U_{ВИХ}$. Розрахуйте постійну складову та амплітуду вихідної напруги $U_{ВИХ}$, використовуючи значення напруг U_1 та U_2 . Результати запишіть в розділ “Результати експериментів”.

Експеримент 3. Додавання змінних напруг.

а) Складіть схему, зображену на рис. 17.3. Включіть схему. Зарисуйте осцилограми вхідної і вихідної напруги в розділі “Результати експериментів”. Виміряйте амплітуди вхідних і вихідних напруг. Обчисліть амплітуду вихідної напруги $U_{ВИХ}$ за відомими значеннями амплітуд напруг U_1 та U_2 . Результати запишіть в розділ “Результати експериментів”.

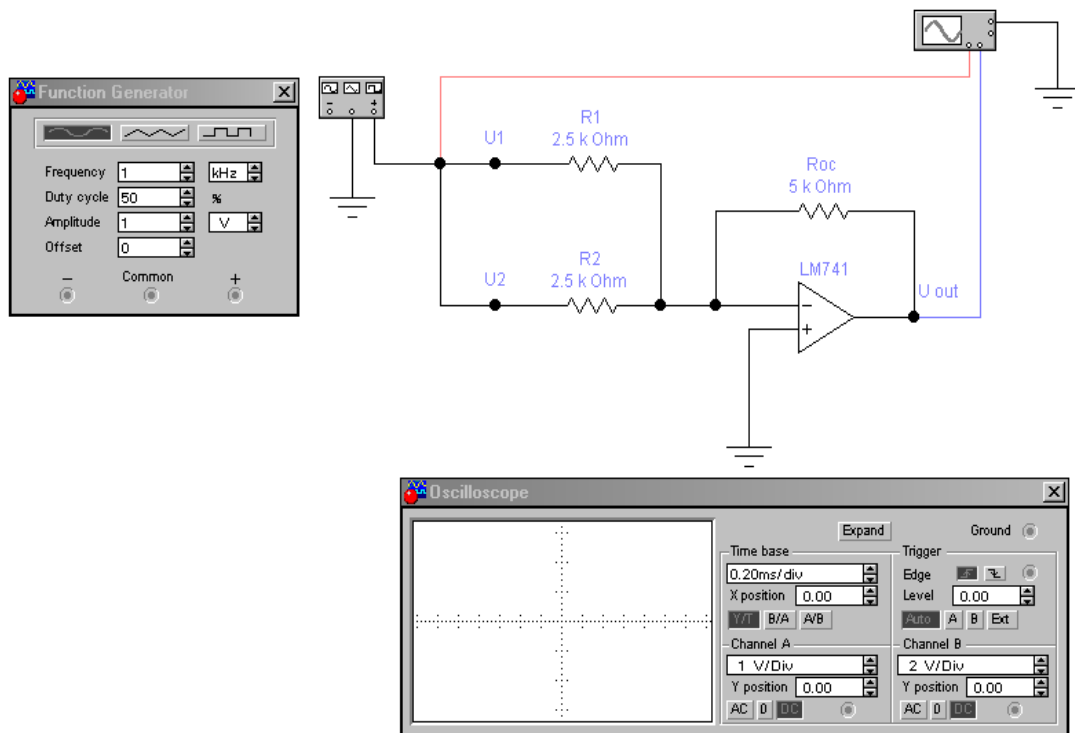


Рис. 17.3. Схема дослідження додавання змінних напруг

Результати експериментів

Експеримент 1. Додавання постійних напруг.

Напруга першого сигналу $U_1 = 5$ В,

Напруга другого сигналу $U_1 = 3$ В.

Струм першого сигналу I_1 P _____ B _____

Струм другого сигналу I_2 P _____ B _____

Сумарний струм I P _____ B _____

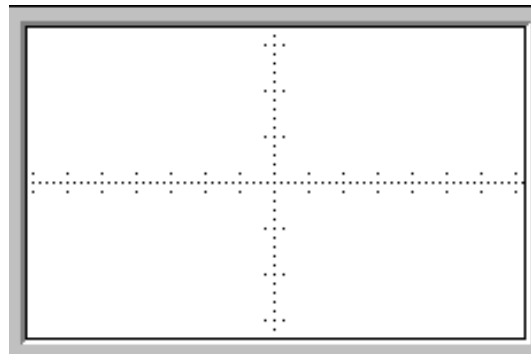
Струм в колі зворотного зв'язку I_{33} P _____ B _____

Вихідна напруга $U_{ВИХ}$ P _____ B _____

Експеримент 2. Додавання постійної і змінної напруг.

а) Опір $R_2 = 5$ кОм.

Осцилограми вхідної і вихідної напруг



Постійна складова вихідної напруги $U_{0ВИХ}$, В P _____ B _____

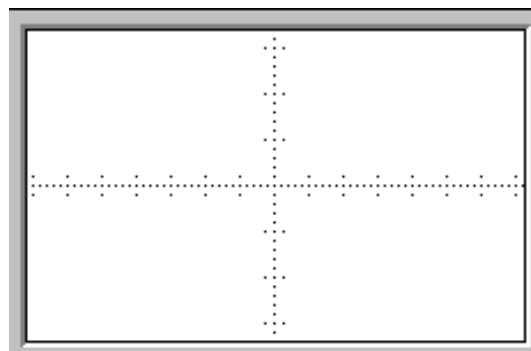
Амплітуда змінної складової вихідної напруги $U_{ВИХ}$, В P _____ B _____

б) Опір $R_2 = 2,5$ кОм.

Постійна складова вихідної напруги $U_{0ВИХ}$, В P _____ B _____

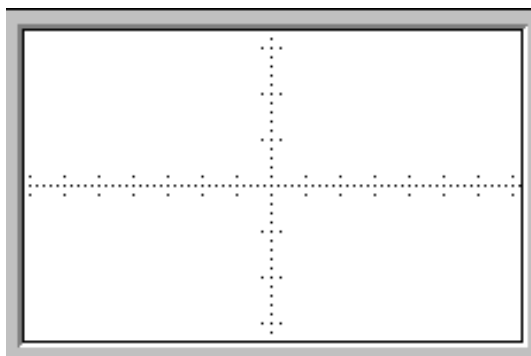
Амплітуда змінної складової вихідної напруги $U_{ВИХ}$, В P _____ B _____

Осцилограми вхідної і вихідної напруг



Експеримент 3. Додавання змінних напруг.

Осцилограми вхідної і вихідної напруг



Амплітуда вихідної напруги $U_{\text{вих}}$, В R _____ B _____

Контрольні запитання

1. Поясніть вплив напруги зміщення ОП на помилку додавання постійних напруг в схемі на рис. 17.1.
2. З яких умов виводиться співвідношення між вхідною і вихідною напругою у схемі суматора на основі ОП?
3. Як можна реалізувати схему для додавання трьох чи більше вхідних напруг?
4. Як міняються основні співвідношення для схеми на рис. 17.1, якщо на неінвертуючий вхід ОП подати постійну напругу?
5. Перерахуйте можливі способи зміни коефіцієнтів додавання сигналів в схемі на рис. 17.1.
6. При яких обмеженнях на вхідні сигнали схема суматора працює в лінійному режимі?

Лабораторна робота №18

Схеми диференціювання та інтегрування на основі операційного підсилювача

Мета роботи

1. Дослідження схеми інтегратора на ОП.
2. Аналіз впливу вхідних дій на вихідний сигнал інтегратора.
3. Дослідження впливу параметрів елементів інтегратора на вихідний сигнал.
4. Дослідження схеми диференціатора на ОП.
5. Аналіз впливу вхідних дій на вихідний сигнал диференціатора.
6. Дослідження впливу параметрів елементів диференціатора на вихідний сигнал.

Прилади і елементи

Осцилограф, функціональний генератор, операційний підсилювач LM741, резистори, конденсатори.

Короткі відомості з теорії

На основі ОП можна побудувати майже ідеальні інтегратори. На рис. 18.1 показана найпростіша схема, яка виконує цю функцію. Її вихідна напруга $U_{ВІХ}$ пов'язана з вхідною напругою $U_{ВХ}$ наступними співвідношеннями:

$$\frac{U_{ВХ}}{R} = -C \frac{dU_{ВІХ}}{dt},$$
$$U_{ВІХ} = -\frac{1}{RC} \int_0^t U_{ВХ} dt + const$$

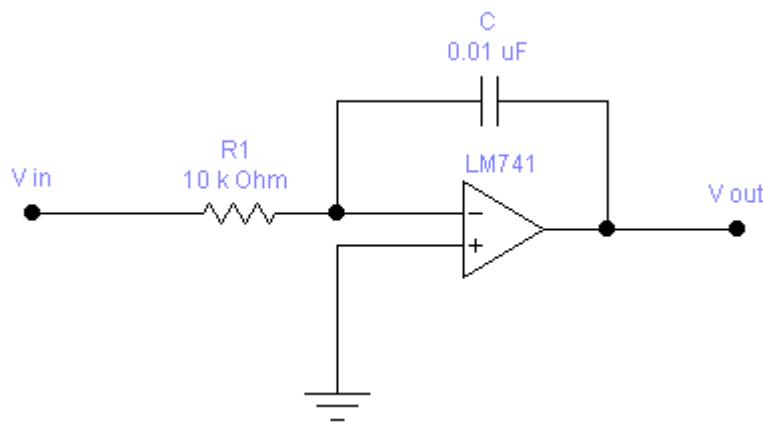


Рис. 18.1. Найпростіша схема інтегратора

Недоліком цієї схеми є дрейф вихідної напруги, обумовлений напругою зміщення та вхідними струмами ОП.

Це небажане явище можна послабити, якщо до конденсатора C підключити резистора R_2 з великим опором (рис. 18.2), який забезпечує стабілізацію робочої точки за рахунок зворотного зв'язку за постійним струмом. Резистор зворотного зв'язку R_2 запобігає також насиченню ОП після заряду конденсатора, коли струм через конденсатор стане рівним нулю. Вихідна напруга цієї схеми при подачі на неї стрибка вхідної напруги амплітудою U_{BX} змінюється у відповідності з виразом:

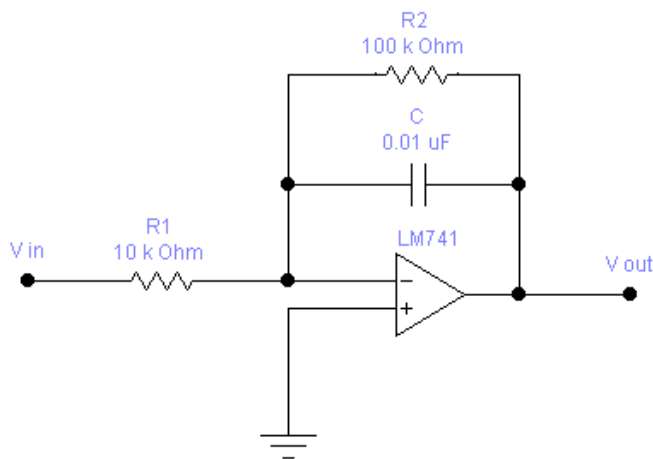


Рис. 18.2. Покращена схема інтегратора

$$U_{ВИХ} = -U_{BX} \frac{R_2}{R_1} \left[1 - \exp\left(-\frac{t}{R_2 C}\right) \right]$$

На початковому етапі перехідного процесу при $t \ll R_2 C$, зміна вихідної напруги $U_{ВИХ}$ буде достатньо близька до лінійної і швидкість її зміни може бути розрахована з виразу:

$$\frac{\Delta U_{ВИХ}}{\Delta t} = -\frac{U_{BX}}{R_1 C}$$

Для схеми диференціатора (рис. 18.3) вихідна напруга $U_{ВИХ}$ пропорційна швидкості зміни вхідного сигналу і розраховується за формулою:

$$U_{ВИХ} = -R_2 C \frac{\Delta U_{ВХ}}{\Delta t}$$

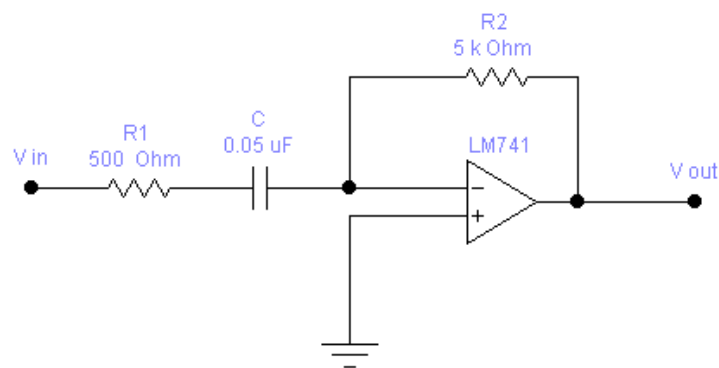


Рис. 18.3. Схема диференціатора

Порядок проведення експериментів

Експеримент 1. Перехідний процес у схемі інтегратора.

Отримайте завдання у викладача. Складіть схему, зображену на рис. 18.4. Включіть схему. Зарисуйте осцилограми вхідної і вихідної напруг схеми при подачі на вхід у виді послідовності прямокутних імпульсів у розділі “Результати експериментів”. Виміряйте амплітуду вхідної напруги та визначте за осцилограмою швидкість зміни вихідної напруги. Для встановленого процесу виміряйте амплітуду вихідної напруги. Результати запишіть в розділ “Результати експериментів”.

Експеримент 2. Вплив амплітуди вхідної напруги на перехідний процес у схемі інтегратора.

У схемі на рис. 18.4 встановіть амплітуду генератора 2 В та встановіть масштаб напруги на входах А і В осцилографа 2 V/div. Включіть схему. Зарисуйте осцилограми вхідної і вихідної напруг у розділі “Результати експериментів”. Виміряйте амплітуду вхідної напруги та визначте за осцилограмою швидкість зміни вихідної напруги. Порівняйте осцилограми вихідної напруги, отриманої в цьому та попередньому експериментах. Для встановленого процесу виміряйте амплітуду вихідної напруги. Результати запишіть в розділ “Результати експериментів”.

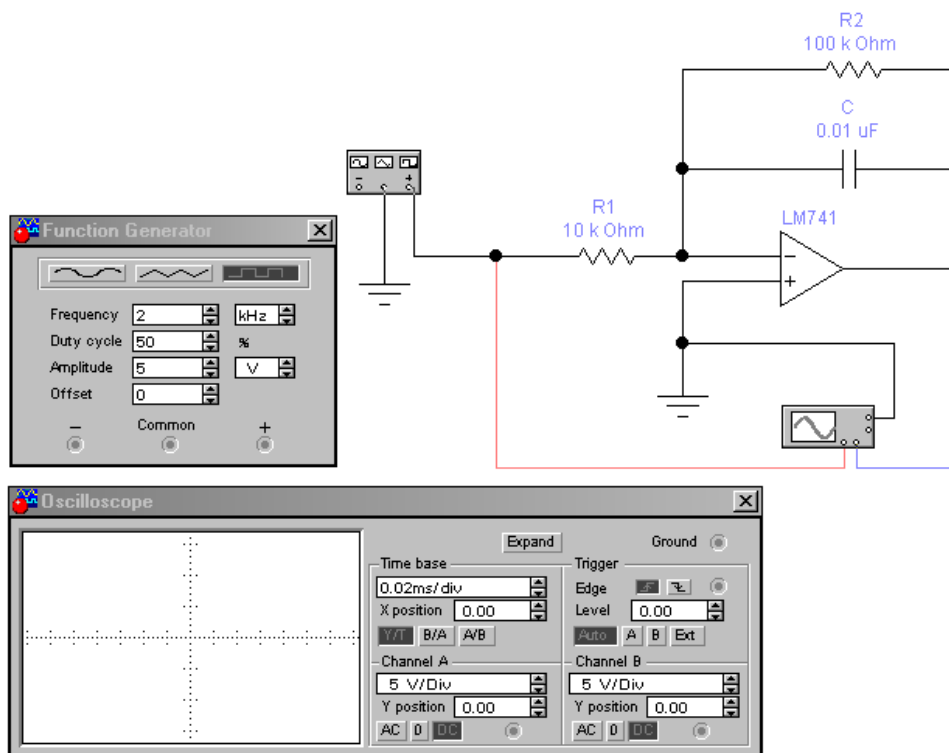


Рис. 18.4. Схема дослідження роботи інтегратора

Експеримент 3. Вплив параметрів схеми на перехідний процес у схемі інтегратора.

а) У схемі на рис. 18.4 встановіть опір R_1 рівний 5 кОм, амплітуду генератора 5 В. Включіть схему. Зарисуйте осцилограми вхідної і вихідної напруг у розділі “Результати експериментів”. Запишіть амплітуду вхідної напруги та визначте за осцилограмою швидкість зміни вихідної напруги на початку процесу. Порівняйте осцилограму вихідної напруги, отриману в даному експерименті з осцилограмою, отриманою в експерименті 1.

б) У схемі на рис. 18.4 встановіть ємність конденсатора рівну 0,02 мкФ. Включіть схему. Зарисуйте осцилограми вхідної і вихідної напруг у розділі “Результати експериментів”. Запишіть амплітуду вхідної напруги та визначте за осцилограмою швидкість зміни вихідної напруги на початку процесу. Порівняйте осцилограму вихідної напруги, отриману в даному експерименті з осцилограмою, отриманою в експерименті 1.

Експеримент 4. Перехідний процес у схемі диференціатора на ОП.

а) Складіть схему, подану на рис. 18.5. Включіть схему. Зарисуйте осцилограми вхідної і вихідної напруг у розділі “Результати експериментів”. За отриманими осцилограмами визначте швидкість зміни вхідної напруги та амплітуду вихідної напруги, результат запишіть в розділ “Результати експериментів”.

б) За заданими параметрами схеми і знайденим значенням швидкості зміни вхідної напруги розрахуйте амплітуду вихідної напруги. Результат запишіть в розділ “Результати експериментів”.

Експеримент 5. Вплив частоти вхідної напруги на вихідну напругу диференціатора.

а) У схемі на рис. 18.5 установіть частоту генератора рівну 2 кГц. Включіть схему. Зарисуйте осцилограми вхідної і вихідної напруг у розділі “Результати експериментів”. За отриманими осцилограмами визначте швидкість зміни вхідної напруги та амплітуду вихідної напруги. Результати запишіть в розділ “Результати експериментів”. Порівняйте осцилограму вихідної напруги, отриману в даному експерименті, з осцилограмою, отриманою в експерименті 4.

б) За заданими параметрами схеми і знайденим значенням швидкості зміни вхідної напруги розрахуйте амплітуду вихідної напруги. Результат запишіть в розділ “Результати експериментів”.

Експеримент 6. Вплив опору в колі зворотного зв'язку на вихідну напругу диференціатора.

а) У схемі на рис. 18.5 установіть початкову частоту генератора, а величину опору в колі зворотного зв'язку встановіть рівним 10 кОм. Включіть схему. Зарисуйте осцилограми вхідної і вихідної напруг у розділі “Результати експериментів”. За отриманими осцилограмами визначте швидкість зміни вхідної напруги та амплітуду вихідної напруги. Результати запишіть в розділ

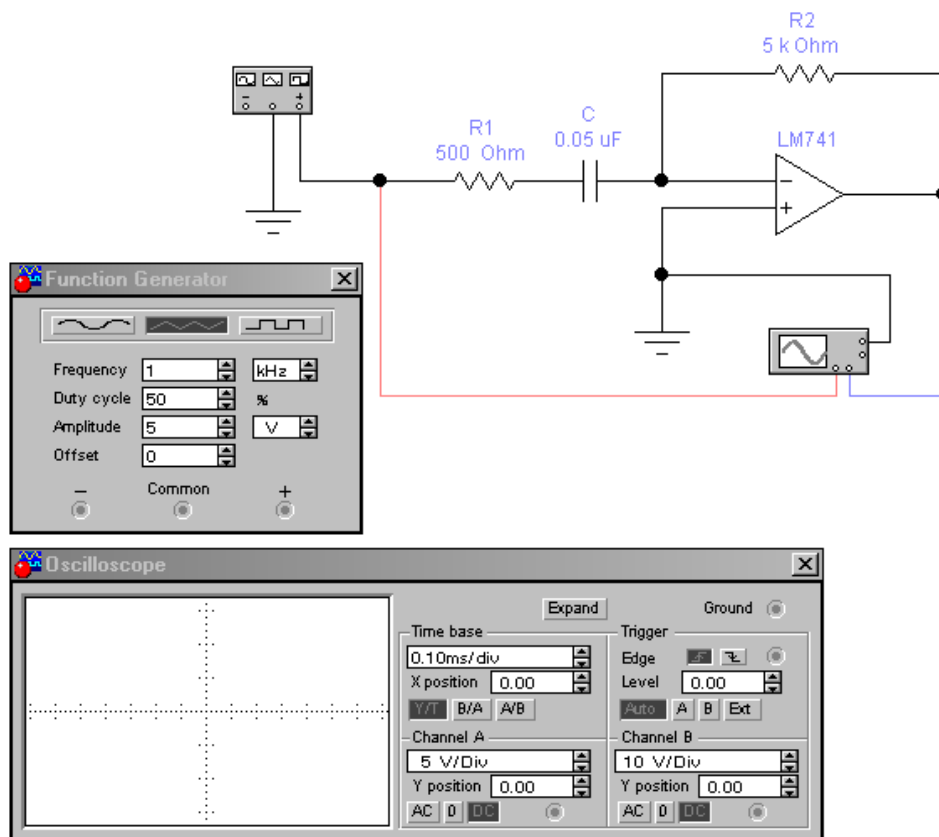


Рис. 18.5. Схема дослідження роботи диференціатора

“Результати експериментів”. Порівняйте осцилограму вихідної напруги, отриману в даному експерименті, з осцилограмою, отриманою в експерименті 4.

б) За заданими параметрами схеми і знайденим значенням швидкості зміни вхідної напруги розрахуйте амплітуду вихідної напруги. Результат запишіть в розділ “Результати експериментів”.

Експеримент 7. Вплив ємності конденсатора на вихідну напругу диференціатора.

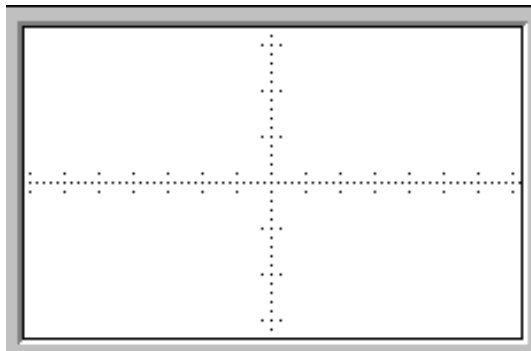
а) У схемі на рис. 18.5 установіть початкові значення параметрів схеми, а величину ємності конденсатора установіть рівною 0,1 мкФ. Включіть схему. Після встановлення процесу зарисуйте осцилограми вхідної і вихідної напруг у розділі “Результати експериментів”. За отриманими осцилограмами визначте швидкість зміни вхідної напруги та амплітуду вихідної напруги. Результати запишіть в розділ “Результати експериментів”. Порівняйте осцилограму вихідної напруги, отриману в даному експерименті, з осцилограмою, отриманою в попередньому експерименті.

б) За заданими параметрами схеми і знайденим значенням швидкості зміни вхідної напруги розрахуйте амплітуду вихідної напруги. Результат запишіть в розділ “Результати експериментів”.

Результати експериментів

Експеримент 1. Перехідний процес у схемі інтегратора.

Осцилограми вхідної і вихідної напруг



Амплітуда вхідної напруги, В

V _____

Швидкість зміни вихідної напруги, В/с

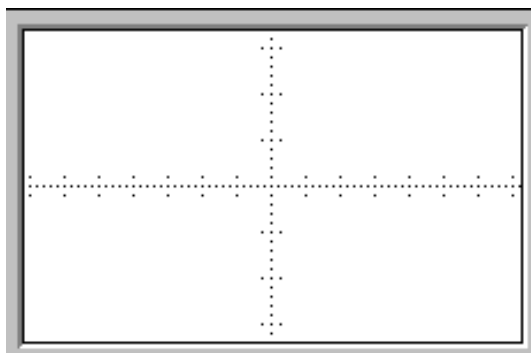
P _____

Амплітуда вихідної напруги, В

V _____

Експеримент 2. Вплив амплітуди вхідної напруги на перехідний процес у схемі інтегратора.

Осцилограми вхідної і вихідної напруг



Амплітуда вхідної напруги, В

V _____

Швидкість зміни вихідної напруги, В/с

P _____

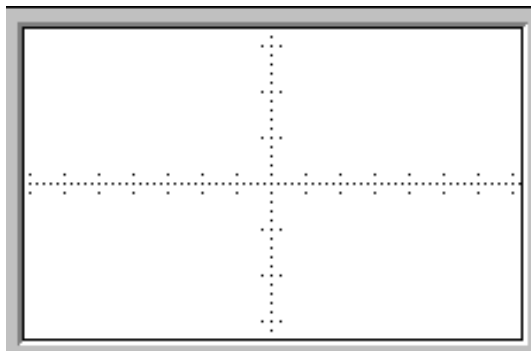
Амплітуда вихідної напруги, В

V _____

Експеримент 3. Вплив параметрів схеми на перехідний процес у схемі інтегратора.

а) Опір $R_1 = 5$ кОм.

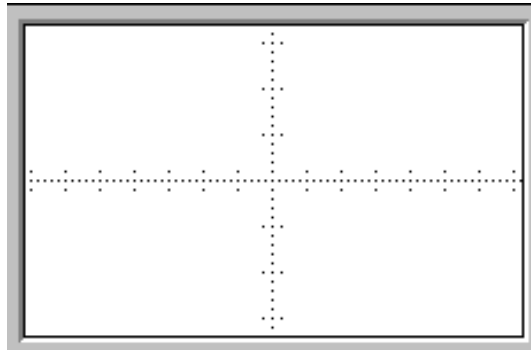
Осцилограми вхідної і вихідної напруг



Амплітуда вхідної напруги, В B _____
Швидкість зміни вихідної напруги, В/с P _____

б) Ємність конденсатора $C = 0,02$ мкФ.

Осцилограми вхідної і вихідної напруг



Амплітуда вхідної напруги, В B _____
Швидкість зміни вихідної напруги, В/с P _____

Експеримент 4. Перехідний процес у схемі диференціатора на ОП.

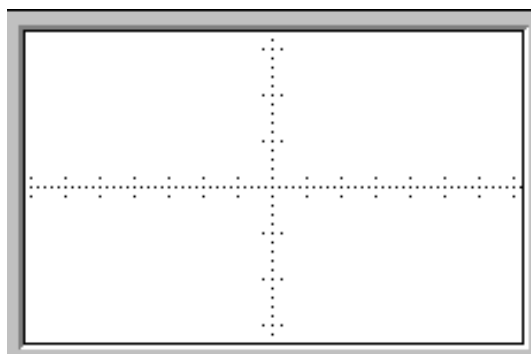
а)

Амплітуда вихідної напруги, В B _____
Швидкість зміни вхідної напруги, В/с P _____

б)

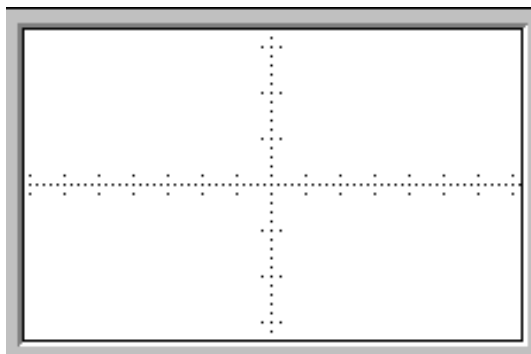
Амплітуда вихідної напруги, В P _____

Осцилограми вхідної і вихідної напруг



Експеримент 5. Вплив частоти вхідної напруги на вихідну напругу диференціатора.

Осцилограми вхідної і вихідної напруг



а)

Амплітуда вихідної напруги, В

B _____

Швидкість зміни вхідної напруги, В/с

P _____

б)

Амплітуда вихідної напруги, В

P _____

Експеримент 6. Вплив опору в колі зворотного зв'язку на вихідну напругу диференціатора.

а)

Амплітуда вихідної напруги, В

B _____

Швидкість зміни вхідної напруги, В/с

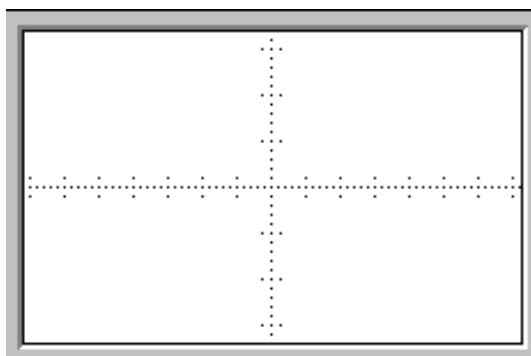
P _____

б)

Амплітуда вихідної напруги, В

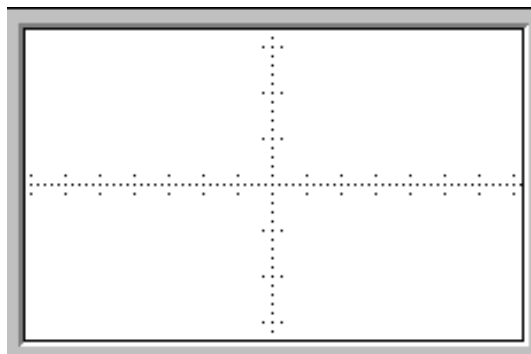
P _____

Осцилограми вхідної і вихідної напруг



Експеримент 7. Вплив ємності конденсатора на вихідну напругу диференціатора.

Осцилограми вхідної і вихідної напруг



а)

Амплітуда вихідної напруги, В

B _____

Швидкість зміни вхідної напруги, В/с

P _____

б)

Амплітуда вихідної напруги, В

P _____

Контрольні запитання

1. Порівняйте швидкість зміни вихідного сигналу в експериментах 1 і 2.
2. Яку роль відіграє опір R_2 , підключений паралельно конденсатору в схемі на рис. 18.4?
3. На які параметри перехідного процесу в схемі на рис. 18.5 впливає величина опору R_2 ?
4. Чи є схема на рис. 18.4 ідеальним інтегратором вхідної напруги?
5. Від параметрів яких компонентів схеми рис. 18.4 залежить точність інтегрування вхідної напруги?
6. Від параметрів яких компонентів схеми рис. 18.4 залежить швидкість зміни вихідної напруги при подачі на вхід стрибка напруги?
7. Виведіть співвідношення між вхідною і вихідною напругою для схеми на рис. 18.4.
8. Виведіть співвідношення між вхідною і вихідною напругою для схеми на рис. 18.5.
9. Чому схема на рис. 18.5 є диференціюючим каскадом?
10. Від параметрів яких компонентів схеми на рис. 18.5 залежить величина вихідної напруги при подачі на вхід напруги, яка лінійно змінюється?
11. Чи залежить вихідна напруга диференціюючого каскаду від швидкості зміни вхідної напруги? Поясніть.
12. Чи залежить вихідна напруга диференціюючого каскаду від величини опору в колі зворотного зв'язку?
13. Чи залежить вихідна напруга диференціюючого каскаду на рис. 18.5 від ємності конденсатора?

Література

1. Оксанич А.П., Притчин С.Є., Вашерук О.В. Комп'ютерна електроніка. Ч. I-II. – К.: Вища школа, 2005, 456 с.
2. Бех І.І., Левитський С.М. Фізичні основи комп'ютерної електроніки. – К.: ТОВ “Карбон”, 2010. – 233 с.
3. Електротехніка, електроніка та мікропроцесорна техніка / М. С. Будіщев; Ред. Мельников О.В. – Львів: Афіша, 2001. – 424 с.
4. Скаржена В.А., Луценко А.Н. Электроника и микроэлектроника. Часть 1. – К.: Вища школа, 1991.
5. Гусев В.Г., Гусев Ю.М. Электроника. – М.: Высшая школа, 1991.
6. Електроніка та мікросхемотехніка / А. Буняк. – К.: Київ-Тернопіль, 2001. – 382 с.
7. Електроніка і мікросхемотехніка: Навч. посібник / В.Т. Дмитрів, В.М. Шиманський. – Львів: Вид-во Афіша, 2004. – 175 с.
8. Електроніка і мікросхемотехніка: підручник /Ю.П. Колонтаєвський, А.Г. Сосков; за ред. А.Г.Соскова. – 2-е вид. Рек МОН. – К.: Каравела, 2009. – 416 с.
9. Аналоговая и цифровая электроника: Учебник / Ю.Ф. Опадчий. – М.: Телеком, 2005. – 768 с.
10. Основи електротехніки та електроніки: Навч. посіб. для дистанційного навчання: у 2 ч. Ч.2.: Основи електроніки. / І.А. Петренко. – К.: Університет "Україна", 2006. – 307 с.
11. Мандзюк Володимир Ігорович. Комп'ютерна електроніка: матеріали до хрестоматії з дисципліни. - Івано-Франківськ : НБ ПНУ, 2018.
12. Твердотільна електроніка. Фізичні основи і властивості напівпровідникових приладів: навчальний посібник. / А.О. Дружинін. – Львів: Національного університету "Львівська політехніка", 2009. – 332 с.
13. Карлащук В.И. Электронная лаборатория на IBM PC. Программа Electronics Workbench и ее применение. – М.: Солон-Р, 2000. – 512 с.
14. Панфилов Д.И., Чепурин И.Н., Миронов В.Н. Электротехника и электроника в экспериментах и упражнениях. Практикум на Electronic Workbench. Т. 2. М.: Додэка, 2001. – 288 с.
15. Степаненко И.П. Основы микроэлектроники. – М.: Советское радио, 1980.
16. Схемотехніка електронних систем: У 3 кн. :Підручник /В.І. Бойко, А.М. Гуржій, В.Я. Жуйков та ін.- 2-ге вид., допов. і переробл. Кн. 1.: Аналогова схемотехніка та імпульсні пристрої. – К.: Вища школа, 2004. – 366 с.
17. Комп'ютерна схемотехніка: Навч.посібник / Микола Павлович Бабич. – К.: МК-Прес, 2004. – 412 с.
18. Схемотехника аналоговых электронных устройств: Учебник.- 3-е изд. / В.Н. Павлов. – М.: Телеком, 2005. – 320 с.
19. Физические основы электронной техники: учебное пособие для вузов. / С.М. Герасимов, М.В. Белоус, А.М. Москалюк. – К.: Вища школа, 1981. – 368 с.
20. Завадский В.А. Компьютерная электроника. – К.: ТОО ВЕК, 1996.

УДК 621.382:004(076.5)
М-23

Володимир Ігорович Мандзюк
Степан Петрович Новосядлий
Мирослав Федорович Павлюк

Комп'ютерна електроніка: лабораторний практикум. – Івано-
Франківськ, Прикарпатський національний університет, 2021. – 139 с.

.....

76018, м. Івано-Франківськ, вул. Шевченка, 57
Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника